RICHARD DAWKINS

Il fiume della vita. Cos’è l’evoluzione

Sansoni Editore

Quale forza guida l'evoluzione degli esseri viventi e a quali trasformazioni porterà il mondo intorno a noi? Quale senso si può dare all'intervento di un Creatore all'origine della vita? Come spiegare le apparenti contraddizioni del mondo biologico, come la trasmissione dei geni che causano malattie mortali? La vita e le trasformazioni delle specie, per Dawkins, hanno non solo una spiegazione razionale, ma anche uno scopo identificabile. Gli esseri viventi - e l'uomo tra essi - sono «veicoli di informazione», portatori di geni il cui obiettivo principale è riuscire a trasmettere ai discendenti il proprio Dna. Questo patrimonio di informazione, tramandato da una generazione all'altra, subisce nel tempo graduali modifiche i cui effetti costituiscono l'evoluzione, un fiume che, nel suo percorso lunghissimo, si suddivide in rami divergenti: le specie. La biologia si sforza di risalirli alla ricerca dei punti di confluenza, in un'esplorazione che, alla luce dei princìpi darwiniani e degli strumenti più recenti della scienza, conferma che il «miracolo» dell'organizzazione della materia negli

esseri viventi è un processo lento, complesso, ma tutt'altro che inspiegabile.

Richard Dawkins, definito dal quotidiano londinese «Daily Telegraph» il «più brillante sostenitore contemporaneo della teoria evoluzionistica di Charles Darwin», illustra questi temi con la consueta capacità di spiegare anche ai non specialisti i problemi più complessi della logica che guida la ricerca scientifica di oggi.

Utilizzando da maestro tutti gli strumenti della scrittura, dall'ironia all'aneddoto, dal riferimento di cronaca alla polemica feroce, Dawkins costruisce le sue argomentazioni con chiarezza esemplare, in pagine affascinanti e spesso divertenti.

Richard Dawkins insegna all'Università di Oxford ed è autore di alcuni volumi dedicati ai più discussi problemi della biologia moderna, che hanno ottenuto straordinario successo anche in Italia: Il fenotipo esteso (1986), L'orologiaio cieco (Rizzoli 1988), vincitore del Royal Society of Literature Award e del «Los Angeles Times» Book Prize in Sciences, e Il gene egoista (1992).

In memoria di Henry Colyear Dawkins (1921-1992) docente presso il St' John's College, Oxford, e maestro nell'arte di rendere chiara ogni cosa.

C'era un fiume che usciva dall'Eden per irrigare il giardino.
Genesi 2, 10

[p. 9] Prefazione

> Natura, pare, è il termine corrente per descrivere miliardi, miliardi e miliardi di particelle che giocano una carambola infinita in migliaia e migliaia di biliardi.
> Piet Hein

Piet Hein descrive classicamente il mondo originario della materia inanimata. Ma quando, del tutto casualmente, i rimbalzi dei biliardi atomici compongono un oggetto dotato di una specifica proprietà apparentemente innocua, ecco che nell'Universo si realizza un evento di fondamentale importanza. Tale proprietà consiste nella capacità di autoreplicarsi, e ciò si verifica quando un oggetto è in grado di utilizzare la materia circostante per produrre copie identiche di se stesso, comprendenti anche quei minimi errori di copiatura che occasionalmente possono verificarsi. Ciò che deriva da questo singolare evento, in qualsiasi parte dell'Universo, è la selezione darwiniana e quindi quella barocca stravaganza che, su questo pianeta, chiamiamo vita. Mai un numero così esiguo di affermazioni fu sufficiente a render conto di una tale molteplicità di eventi. La teoria darwiniana non soltanto costituisce un potentissimo mezzo esplicativo, ma la sua semplicità ha in sé un'eleganza vigorosa, una bellezza poetica che supera addirittura quella dei più affascinanti miti sull'origine del mondo. Scrivendo questo libro mi sono proposto di accordare un meritato tributo alla qualità ispiratrice della

nostra moderna interpretazione della vita in senso darwiniano. C'è più poesia nella figura dell'Eva Mitocondriale che nel suo omologo

mitologico.

La proprietà del vivente che, nelle parole di David Hume, più di tutte «riempie di ammirazione chiunque l'abbia mai contemplata» consiste nella complessa precisione con cui i suoi meccanismi - quelli che Charles Darwin descriveva [p. 10] come «organi di estrema complessità e perfezione» - soddisfano uno scopo apparente. L'altra impressionante caratteristica della vita sulla terra è la sua esuberante varietà: da una stima del numero delle specie esistenti risulta che sono possibili decine di milioni di modi differenti per costruire un organismo. Un altro dei miei propositi è convincere i lettori che l'espressione «modi per costruire un organismo» equivale a dire «modi per trasmettere messaggi codificati nel dna alle generazioni future». Il «fiume» citato nel titolo di questo libro è un fiume di dna che scorre e si ramifica attraverso il tempo geologico, e la metafora delle sue sponde scoscese che racchiudono il programma genetico di ciascuna specie si rivela uno strumento di spiegazione sorprendentemente utile ed efficace.

In un modo o nell'altro, in tutti i miei libri ho cercato di descrivere ed esplorare il potere pressoché illimitato del principio darwiniano, potere lasciato libero di esprimersi ogniqualvolta gli effetti dell'originaria capacità di autoreplicazione abbiano il tempo sufficiente per dispiegarsi. Con Il fiume della vita mi propongo di proseguire nella mia missione e di portare al suo limite estremo la storia delle conseguenze che poterono sorgere quando il fenomeno della replicazione venne introdotto nel gioco, fino a quel momento semplice, dei biliardi atomici.

Durante la stesura di questo libro ho ricevuto, in varie combinazioni, il sostegno, l'incoraggiamento, i consigli e le critiche costruttive di Michael Birkett, John Brockman, Steve Davies, Daniel Dennett, John Krebs, Sara Lippincott, Jerry Lyons e

soprattutto di mia moglie, Lalla Ward, autrice dei disegni. Alcuni paragrafi sono rielaborati da articoli comparsi su altre pubblicazioni. I brani del Capitolo 1 riguardanti i codici digitali e analogici si basano su un mio articolo pubblicato l'11 giugno 1994 da «The Spectator». Nel Capitolo 3 il resoconto del lavoro di Dan Nilsson e Susanne Pelger sull'evoluzione dell'occhio è parzialmente tratto da un mio articolo comparso il 21 aprile 1994 sulla rubrica «News and Views» di «Nature». Ringrazio i direttori di entrambe le riviste per le quali sono stati scritti gli articoli [p. 11] in questione. Sono grato, infine, a John Brockman e Anthony Cheetham per avermi invitato a partecipare al progetto editoriale di cui la «Biblioteca scientifica Sansoni» fa parte.

Oxford, 1994

[PAGINA 5]

[p. 13] 1.

Il fiume digitale

Non vi è popolazione che non possieda leggende epiche sui suoi progenitori tribali, e spesso queste leggende assumono la veste formale di culto religioso. La gente prova reverenza per gli antenati, e talora ne fa oggetto di culto: e fa bene, poiché sono i concreti progenitori, e non gli dèi soprannaturali, a possedere la chiave di comprensione della vita. Di tutti gli organismi che nascono, la maggior parte muore prima di raggiungere la maturità. Entro la minoranza che sopravvive e che riesce a riprodursi, una minoranza ancora più esigua avrà pronipoti viventi dopo un migliaio di generazioni. Questa minuscola minoranza di una minoranza, un'élite

riproduttiva, è tutto quanto le generazioni successive potranno definire «ancestrale». I progenitori sono rari, i discendenti sono comuni.

Tutti gli organismi vissuti - ogni animale e ogni pianta, ogni batterio e ogni fungo, ogni cosa abbia mai strisciato sulla terra, e ogni lettore di questo libro - possono volgersi indietro a guardare i propri antenati e proclamare con orgoglio che non uno solo di essi morì nell'infanzia. Tutti raggiunsero l'età adulta, e tutti furono in grado di trovarsi almeno un partner eterosessuale e accoppiarsi generando prole. (*) [p. 14] Non uno solo nostri progenitori fu abbattuto da un nemico o ucciso da un virus, né venne tradito da un passo falso che lo fece precipitare da una scogliera, prima di avere messo al mondo almeno un figlio. Migliaia di contemporanei dei nostri progenitori fallirono sotto tutti questi aspetti, ma non uno solo dei nostri progenitori fallì in alcuno di essi. Queste affermazioni sono di un'ovvietà lampante, tuttavia portano con sé molte altre considerazioni: parecchie di queste saranno curiose e inattese, parecchie ci spiegheranno certe cose, e parecchie ci lasceranno attoniti. Tutte queste considerazioni saranno l'argomento del presente libro.

Poiché tutti gli organismi ereditano tutti i loro geni dai propri progenitori, e non dai contemporanei di questi ultimi che non hanno avuto successo riproduttivo, tutti gli organismi tendono a possedere geni vincenti, cioè ad avere ciò che occorre per diventare progenitori, il che significa sopravvivere e riprodursi. Questo è il motivo per cui gli organismi tendono a ereditare geni con la propensione a costruire una macchina ben progettata: un corpo che opera attivamente come se lottasse per diventare un progenitore. E' per questo che gli uccelli sono così bravi a volare, i pesci a nuotare, le scimmie ad arrampicarsi sugli alberi e i virus a

diffondersi. Ed è per questo che noi amiamo la vita, ci piace il

[PAGINA 6]
sesso e proviamo tenerezza per i bambini: perché tutti, senza una sola eccezione, ereditiamo tutti i nostri geni da una linea ininterrotta di progenitori che hanno avuto successo riproduttivo. Il mondo si popola di organismi che hanno quanto occorre per diventare progenitori. Questo, in una frase, è il darwinismo. Ovviamente Darwin ha detto molto di più, e oggi anche noi abbiamo tante altre cose da dire, che è il motivo per cui il libro non finisce qui.

Vi è un modo naturale, e profondamente nocivo, di fraintendere il significato dell'ultimo paragrafo. Si è tentati di pensare che quando i progenitori fecero qualcosa con successo, i geni che essi passarono ai loro figli fossero, per questo motivo, migliorati rispetto a quelli che essi avevano ricevuto [p. 15] dai loro genitori: qualcosa del loro successo si trasferì nei loro geni, ed è per questo che i loro discendenti sono così bravi a volare, a nuotare, a farsi la corte. Sbagliato, sbagliatissimo! I geni non migliorano con l'uso, ma vengono semplicemente ereditati senza cambiamenti, fatta eccezione per qualche errore casuale. Non è il successo che determina la buona qualità dei geni. Sono i geni di buona qualità che determinano il successo, e nulla di ciò che un individuo può fare durante la vita avrà mai alcun effetto sui suoi geni. Gli individui che nascono con geni qualitativamente buoni hanno le maggiori probabilità di crescere e di diventare progenitori, da cui consegue che i geni buoni hanno maggiori probabilità di venire trasmessi agli organismi futuri. Ciascuna generazione è come un filtro, un setaccio: i geni buoni tendono a cadere attraverso la rete nella generazione successiva, quelli cattivi tendono a finire in corpi che muoiono giovani o senza

riprodursi. I geni cattivi possono passare attraverso il setaccio per un paio di generazioni, forse perché hanno la fortuna di condividere un corpo con altri geni di buona qualità. Ma occorre qualcosa di più della fortuna per trasferirsi con successo attraverso una serie ininterrotta di un migliaio di setacci, l'uno dietro l'altro. Dopo mille generazioni successive, è probabile che i geni che li hanno attraversati tutti siano qualitativamente buoni.

Come ho già detto, i geni che sopravvivono per generazioni sono quelli che sono riusciti a diventare progenitori. Questo è vero, ma vi è un'apparente eccezione di cui è indispensabile parlare prima che sollevi qualche malinteso. Alcuni individui sono irrimediabilmente sterili, tuttavia sembrano destinati a contribuire al passaggio dei propri geni alle generazioni future. Fra le formiche, le api, le vespe e le termiti, le operaie sono sterili. Esse lavorano non per diventare progenitrici ma perché i loro parenti fecondi - solitamente sorelle e fratelli - possano diventare progenitori. Qui vi sono due punti da capire. Innanzitutto, in ogni tipo di animale le sorelle e i fratelli hanno alte probabilità di condividere copie degli stessi geni. In secondo luogo è l'ambiente, e non i geni, che determina se,

ad esempio, una singola termite potrà riprodursi o diventerà un'operaia sterile. Tutte le termiti [p. 16] possiedono geni capaci di trasformarle in operaie sterili a determinate condizioni ambientali, oppure di renderle feconde ad altre condizioni. Le termiti riproduttrici passano ai discendenti copie degli stessi geni che inducono nelle operaie sterili il comportamento di collaborazione. Le operaie sterili lavorano duramente sotto l'influenza dei propri geni, copie dei quali si trovano nel corpo di

quelle che invece possono riprodursi. Le copie «operaie» di quei geni si adoperano per aiutare le copie «riproduttrici» a passare attraverso il setaccio transgenerazionale. Le termiti operaie possono essere maschi o femmine, ma fra le formiche, le api e le vespe tutte le operaie sono femmine; comunque sia il principio è lo stesso. In forma minore esso si applica anche a diverse specie di uccelli, di mammiferi e di altri animali fra cui si osserva una certa quantità di cure della prole prestate da fratelli e sorelle più vecchi. In sintesi, i geni possono aprirsi la strada attraverso il setaccio non solo aiutando il proprio corpo a diventare un progenitore ma anche aiutando il corpo di un parente per lo stesso scopo.

Il fiume cui alludo con la citazione all'inizio del libro è un fiume di dna che scorre attraverso il tempo, non attraverso lo spazio. E' un fiume di informazioni, non di ossa e di tessuti organici. E' un fiume di istruzioni astratte per la costruzione di corpi, non un fiume di corpi reali. Le informazioni passano attraverso gli organismi e li influenzano mentre gli organismi non influenzano le informazioni da cui sono attraversati. Non solo il fiume non viene influenzato dalle esperienze e dai successi riscossi dai corpi che, ad uno ad uno, attraversa, ma non viene influenzato nemmeno da una fonte potenziale di contaminazione che, all'apparenza, è molto più potente: il sesso.

In ciascuna delle nostre cellule, metà dei geni di nostra madre è a stretto contatto con metà dei geni di nostro padre. I nostri geni materni e i nostri geni paterni lavorano fianco a fianco per rendere ciascuno di noi quell'amalgama indefinibile e indivisibile che di fatto siamo. Ma i geni non si mescolano: si mescolano solo i loro effetti. I geni stessi hanno un'integrità adamantina. Quando viene il momento di trasmettersi alla generazione successiva, il gene può passare nel [p. 17] corpo di un determinato bambino oppure no. I geni

del padre e quelli della madre non si mescolano, ma si ricombinano indipendentemente. Un certo gene ci proviene o da nostra madre o da nostro padre. E in precedenza provenne da uno, e solo uno, dei nostri quattro nonni; da uno, e solo uno, dei nostri otto bisnonni; e così via.

Ho parlato di un fiume di geni, ma potremmo ugualmente parlare di una banda di buoni compagni che marciano attraverso il tempo

geologico. Tutti i geni di una popolazione interfeconda sono, alla lunga, scambievolmente compagni. Nell'immediato, essi si trovano in singoli corpi e sono temporaneamente compagni più intimi degli altri geni che condividono quel corpo. I geni sopravvivono a lungo solo se sono capaci di costruire corpi a loro volta in grado di vivere e di riprodursi in quel particolare tipo di vita che è propria della specie. Ma c'è di più. Per essere bravo nella sopravvivenza, un gene deve saper lavorare insieme con altri geni appartenenti alla stessa specie, cioè allo stesso fiume. Per sopravvivere a lungo, un gene deve essere un buon compagno. Deve operare correttamente in compagnia, o nel contesto, degli altri geni che popolano il medesimo fiume. I geni di altre specie sono i fiumi diversi, e con questi non c'è alcun bisogno di andare d'accordo - non nello stesso senso, perlomeno - perché non condividono i medesimi corpi. La caratteristica che definisce una specie è che tutti i suoi membri sono percorsi dallo stesso fiume di geni, e tutti i geni di una specie devono poter essere reciprocamente buoni compagni. Una nuova specie compare quando una specie preesistente si suddivide in due. Nel tempo, il fiume genico si biforca. Dal punto di vista del gene, la speciazione - l'origine di una nuova specie - è il «lungo addio».

Dopo un breve periodo di parziale separazione i due fiumi intraprendono ciascuno il proprio corso, o per sempre o fino a quando uno dei due si perderà nella sabbia. Al sicuro fra le sponde di uno dei due fiumi, l'acqua si mescola e si rimescola per ricombinazione sessuale. Ma l'acqua di un fiume non tracima mai per contaminare l'altro. Dopo che una specie si è divisa, i due corredi genetici non sono più compagni. Essi non si incontrano più negli stessi corpi e non sono più tenuti ad andare d'accordo. Non vi è più alcun [p. 18] rapporto fra loro, e rapporto, in questo caso, significa letteralmente rapporto sessuale fra i loro veicoli temporanei, i corpi.

Ma perché due specie dovrebbero divergere? Che cosa dà inizio al lungo addio dei loro geni? Per quale motivo un fiume si biforca e i due rami si allontanano per non incontrarsi mai più? I dettagli sono controversi, ma tutti concordano sul fatto che l'ingrediente più importante è la separazione geografica accidentale. Il fiume genico fluisce nel tempo, ma il nuovo accoppiamento fisico dei geni ha luogo concretamente nei corpi, e i corpi occupano un posto nello spazio. Uno scoiattolo grigio nordamericano sarebbe in grado di accoppiarsi con uno scoiattolo grigio inglese, se potessero incontrarsi. Ma è improbabile. Il fiume genico dello scoiattolo grigio nordamericano è di fatto separato da tremila miglia di oceano dal fiume genico dello scoiattolo grigio inglese. I due corredi genetici non sono più compagni, anche se presumibilmente sarebbero capaci di comportarsi da buoni compagni se si presentasse l'occasione. Essi si sono

accomiatati, anche se non è proprio un addio definitivo. Ma se poi trascorre un altro migliaio di anni di separazione, è probabile che i

due fiumi si allontanino tanto che se anche i due scoiattoli si incontrassero non sarebbero più in grado di scambiarsi i loro geni. La «lontananza» in questo caso non è nello spazio, ma nella compatibilità.

Quasi certamente, qualcosa di simile si cela dietro l'antica separazione fra lo scoiattolo grigio e quello rosso, che non sono interfecondi. Essi si sovrappongono geograficamente in alcune parti dell'Europa e sebbene si incontrino e probabilmente si scontrino contendendosi le noci, non possono accoppiarsi dando luogo a una prole fertile. I loro fiumi genici si sono allontanati troppo, nel senso che i loro geni non sono più adatti a cooperare vicendevolmente all'interno di un unico corpo. Molte generazioni prima, i progenitori degli scoiattoli grigi e degli scoiattoli rossi erano esattamente gli stessi individui. Ma intervenne una separazione geografica - forse una catena di montagne, forse una distesa d'acqua che alla fine diventò l'Oceano Atlantico - e anche il loro genoma si separò. La separazione geografica determinò un declino della compatibilità. I buoni compagni erano divenuti compagni [p. 19] mediocri (oppure erano risultati tali alla prova dell'accoppiamento). I compagni mediocri erano divenuti ancora meno compatibili, fino a non poter più essere definiti tali. Il loro addio è definitivo. I due fiumi sono separati, e sono destinati a divergere sempre più. La stessa vicenda è sottostante alla molto più remota separazione fra i nostri progenitori e quelli dell'elefante, tanto per citare un esempio. Oppure fra i progenitori dello struzzo (che sono anche i nostri progenitori) e quelli degli scorpioni.

Ora vi sono forse trenta milioni di diramazioni del fiume del dna, poiché questa è la stima del numero delle specie che popolano la terra. Inoltre è stato valutato che le specie viventi sono circa l'uno per cento di tutte le specie finora vissute. Da ciò sembra

conseguire che dal fiume del dna si siano distaccate circa tre miliardi di diramazioni. I trenta milioni di rami attuali sono irreversibilmente separati. Molti sono destinati a prosciugarsi perché la maggior parte delle specie si estingue. Se risaliamo i trenta milioni di fiumi (per brevità, chiamerò «fiumi» queste diramazioni) scopriremo che ad uno ad uno essi si uniscono ad altri fiumi. Il fiume dei geni umani si unisce a quello dello scimpanzé più o meno contemporaneamente al fiume genico del gorilla, circa sette milioni di anni or sono. Qualche milione di anni prima, il nostro comune fiume delle antropomorfe africane confluisce con quello dell'orango. Procedendo ancora a ritroso esso si unisce a quello del gibbone, che si era diramato in un certo numero di specie distinte di gibbone e siamango. Se procediamo ulteriormente indietro nel tempo, il nostro

fiume genico si unisce ai fiumi che in seguito avrebbero dato origine alle scimmie del Vecchio Mondo, a quelle del Nuovo Mondo e ai lemuri del Madagascar. Risalendo ancora, il nostro fiume confluisce con quelli che conducono agli altri grandi gruppi di mammiferi: roditori, felini, chirotteri, proboscidati. E ancora più indietro incontriamo i fiumi che conducono ai vari generi di rettili, uccelli, anfibi, pesci e invertebrati.

Ma vi è un importante aspetto al cui riguardo dobbiamo essere molto cauti con la metafora del fiume. Quando pensiamo alla diramazione che conduce a tutti i mammiferi - in contrapposizione, per esempio, al ramo che conduce allo [p. 20] scoiattolo grigio - cadiamo nella tentazione di immaginare qualcosa di grandioso, qualcosa delle proporzioni del sistema Mississippiìmissouri. La diramazione dei mammiferi, dopo tutto, è destinata a suddividersi ancora infinite

volte, fino a dare luogo a tutte le specie di mammiferi, dal minuscolo toporagno all'elefante, dalla talpa che vive sotto terra alle scimmie che si spostano alla sommità degli alberi. Se la diramazione dei mammiferi è destinata ad alimentare così tante migliaia di importanti corsi d'acqua, perché non immaginarla come una grande fiumana tumultuosa? Ma questa immagine è profondamente sbagliata. Quando i progenitori di tutti i mammiferi attuali si separarono dai non mammiferi, l'evento non fu più appariscente di qualunque altra speciazione. Anzi, non sarebbe stato notato da nessun naturalista che si fosse trovato nei dintorni. Il nuovo ramo del fiume genico sarebbe stato un semplice filo d'acqua, una piccola creatura notturna non più diversa dai suoi cugini non mammiferi di quanto lo scoiattolo rosso sia diverso dal grigio. Solo col senno del poi siamo in grado di scorgere in un animale le caratteristiche del mammifero ancestrale. A quel tempo, quell'animale sarebbe stato semplicemente una delle tante specie di rettili che cominciavano a mostrare alcuni caratteri dei mammiferi, non molto diversi dalla dozzina circa di quei piccoli insettivori dal musetto allungato che più tardi avrebbero costituito un singolo boccone del pasto di un dinosauro.

La stessa assenza di grandiosità aveva probabilmente accompagnato la precedente differenziazione fra i progenitori di tutti i grandi gruppi di animali: i vertebrati, i molluschi, i crostacei, gli insetti, gli anellidi, i platelminti, le meduse e così via. Quando un fiume che avrebbe condotto ai molluschi (e ad altri) si separò dal fiume che avrebbe condotto ai vertebrati (e ad altri), le due popolazioni di animali (probabilmente vermiformi) erano forse ancora così simili da potersi accoppiare. La sola ragione per cui non lo facevano è che erano rimasti accidentalmente separati da una barriera geografica, forse costituita da terre emerse che divisero in due

quello che in precedenza era un unico bacino. Nessuno avrebbe potuto

[PAGINA 11]
immaginare che una popolazione avrebbe dato luogo ai molluschi e l'altra ai vertebrati. I due fiumi del [p. 21] dna non erano che modesti corsi d'acqua a malapena differenziati, e i due gruppi di animali erano del tutto indistinguibili.

Gli zoologi sanno tutte queste cose, ma spesso, quando riflettono su gruppi di animali veramente numerosi - come molluschi e vertebrati - le dimenticano. Essi sono tentati di pensare alla suddivisione fra i gruppi maggiori come a un evento grandioso. Ciò che tende a fuorviarli è il fatto di essersi formati con il convincimento quasi reverenziale che ciascuna delle grandi suddivisioni del regno animale è fornita di qualcosa di profondamente unico, spesso indicato con il termine tedesco Bauplan. Questa parola, che significa semplicemente «progetto», è diventata un termine tecnico comunemente accettato, e io la utilizzerò come una parola della mia lingua anche se, con una certa sorpresa, ho scoperto che non compare ancora nell'ultima edizione dell'Oxford English Dictionary. (Poiché a me il termine piace meno che ad alcuni miei colleghi, ho accolto la sua assenza con un vago frisson di Schadenfreude, due parole che invece compaiono nell'Oxford, dimostrando che non vi sono pregiudizi sistematici riguardo all'utilizzazione di parole straniere.) In questo senso tecnico, Bauplan viene spesso tradotto come «progetto corporeo fondamentale». Ciò che causa il danno è proprio l'uso della parola «fondamentale» (o, parallelamente, l'inopportuno uso di un termine tedesco per evocare il concetto di profondità). Questo è quanto può indurre gli zoologi a commettere gravi errori.

Uno di essi, per esempio, ha avanzato l'ipotesi che l'evoluzione

nel corso del Cambriano (fra circa seicento e circa cinquecento milioni di anni or sono) sia stata un tipo di processo del tutto diverso dall'evoluzione in epoche successive. Il suo ragionamento era che oggi compaiono nuove specie, mentre nel Cambriano comparvero nuovi grandi gruppi, come quello dei molluschi e dei crostacei. L'erroneità di questo ragionamento è lampante! Persino animali radicalmente diversi come i molluschi e i crostacei furono in origine soltanto popolazioni geograficamente separate della stessa specie. Per un certo periodo avrebbero potuto riprodursi se si fossero incontrati, ma non fu così. Dopo milioni di anni di evoluzione [p. 22] separata, essi acquisirono le caratteristiche che noi, con la visione a posteriori dello zoologo attuale, riconosciamo come quelle tipiche rispettivamente dei molluschi e dei crostacei. Queste caratteristiche sono nobilitate con l'altisonante titolo di «progetto corporeo fondamentale» o Bauplan. Ma i maggiori Bauplan del regno animale si differenziarono gradualmente da un'origine comune.

Bisogna ammettere che vi sono discordanze minori, ma molto pubblicizzate, su quanto gradualmente o «per salti» l'evoluzione proceda, ma nessuno, e intendo proprio nessuno, ritiene che

l'evoluzione possa essere proceduta per salti al punto di inventare un intero nuovo Bauplan d'un solo colpo. L'autore che ho citato aveva formulato la sua proposta nel 1958. Ben pochi zoologi assumerebbero esplicitamente la stessa posizione oggi, ma talvolta lo fanno implicitamente parlando dei grandi gruppi di animali come se, al pari di Atena dal capo di Zeus, questi gruppi fossero sorti spontaneamente e perfettamente formati, e non fossero frutto della divergenza da una popolazione ancestrale casualmente rimasta isolata. (**)

Lo studio della biologia molecolare ha dimostrato in ogni caso che i grandi gruppi di animali sono molto più vicini fra loro di quanto pensassimo. Possiamo paragonare il codice genetico a un dizionario in cui sessantaquattro parole di una lingua (le sessantaquattro possibili triplette ottenute da un alfabeto di quattro lettere) corrispondono alle ventun parole di un'altra lingua (venti amminoacidi più un punto fermo). La probabilità di giungere casualmente due volte alla stessa corrispondenza 64 a 21 sono meno di una su un milione di milioni di milioni di milioni di milioni. Tuttavia il codice genetico è di fatto letteralmente identico in tutti gli animali, piante e batteri finora studiati. E' certo che tutti gli esseri viventi della terra discendono da un unico progenitore. Nessuno lo metterebbe in dubbio, ma alcune straordinarie rassomiglianze [p. 23] fra insetti e vertebrati, ad esempio, stanno emergendo ora che i genetisti esaminano non il solo codice ma sequenze dettagliate dell'informazione genetica. Esiste un meccanismo genetico particolarmente complicato che è responsabile della suddivisione in segmenti che caratterizza gli insetti. Un meccanismo genetico stranamente simile è stato osservato anche nei mammiferi. Da un punto di vista molecolare, tutti gli animali sono strettamente imparentati fra loro e lo sono anche con le piante. Bisogna arrivare ai batteri per trovare i nostri lontani cugini, e anche in quel caso il codice genetico è identico al nostro. Il motivo per cui è possibile fare calcoli così precisi sul codice genetico ma non sull'anatomia dei Bauplan è che il codice genetico è strettamente digitale, vale a dire numerico, e i numeri possono essere contati con precisione. Il fiume di geni è un fiume digitale, e ora spiegherò il significato di questo termine tecnico.

Gli ingegneri fanno un'importante distinzione fra i codici digitali e quelli analogici. I fonografi e i registratori - e, fino a poco

tempo fa, la maggior parte dei telefoni - utilizzano codici analogici. I compact disk, i computer e gran parte dei moderni sistemi telefonici usano codici digitali. In un sistema telefonico analogico, le variazioni di pressione che l'onda sonora del suono da trasmettere provoca nell'aria sono trasformate in variazioni di corrente elettrica. Un fonografo funziona in modo simile: le oscillazioni meccaniche di una puntina inserita nel solco inciso

[PAGINA 13]

sulla superficie di un disco sono trasformate in corrispondenti fluttuazioni di tensione. Dall'altra parte della linea le variazioni di tensione vengono riconvertite - mediante le vibrazioni di una membrana contenuta nell'auricolare del telefono oppure nell'altoparlante del fonografo - nelle corrispondenti onde di pressione, che riproducono il suono trasmesso. Il codice è semplice e diretto: le variazioni elettriche nel cavo sono proporzionali alle variazioni di pressione che l'onda sonora provoca nell'aria. Tutte le possibili tensioni, entro determinati limiti, possono passare lungo il cavo, e ciò che conta sono le differenze di potenziale.

In un telefono digitale, solo due possibili tensioni - o qualche altro numero discreto di possibili tensioni, come 8 o 256 [p. 24] - passano lungo il cavo. L'informazione non è costituita dalle tensioni in sé, ma dalla particolare sequenza di valori discreti di tensione. Questa operazione prende il nome di modulazione a impulsi codificati. L'effettiva tensione in ogni dato momento ben di rado sarà esattamente uguale a uno degli otto valori nominali, ma l'apparecchio ricevente lo arrotonderà alla più prossima delle tensioni designate, e quindi, anche se la trasmissione è mediocre, il risultato all'altro capo della linea sarà quasi perfetto. E' dunque necessario che i

livelli discreti siano a una distanza sufficiente a fare sì che le variazioni casuali non possano mai essere erroneamente assegnate dallo strumento ricevitore a un livello sbagliato. Questo è il grande vantaggio dei codici digitali, e il motivo per cui i sistemi audio e video - e la tecnologia dell'informazione in generale - tendono sempre più ad adottarli. I computer, com'è ovvio, utilizzano codici digitali per tutte le funzioni. Per ragioni di opportunità è un codice binario, cioè un codice che ha solo due livelli di tensione invece di 8 o di 256.

Anche in un telefono digitale, i suoni che entrano nella capsula microfonica ed escono dall'auricolare sono variazioni analogiche della pressione dell'onda sonora nell'aria. Ciò che è digitale è l'informazione che viaggia da una centrale telefonica all'altra. Occorre stabilire un codice per tradurre i valori analogici, microsecondo per microsecondo, in sequenze di impulsi discreti, cioè numeri codificati digitalmente. Quando ci intratteniamo al telefono con la persona amata, ogni sfumatura, ogni esitazione della voce, ogni sospiro appassionato e ogni accento struggente viaggiano lungo il cavo unicamente in forma numerica. Possiamo rimanere commossi fino alle lacrime dalle cifre, a patto che vengano codificate e decodificate abbastanza rapidamente. Le moderne centraline elettroniche sono così veloci che il tempo di occupazione della linea può essere suddiviso in sezioni, più o meno nello stesso modo in cui un campione di scacchi può dividere il proprio tempo disputando venti incontri a rotazione. In questo modo, migliaia di conversazioni

possono trovar posto nella stessa linea telefonica, apparentemente simultanee ma elettronicamente separate senza che si creino

interferenze. Una linea principale - molte oggi non sono cablate ma costituite [p. 25] da fasci di onde radio, sia trasmesse direttamente da ripetitore a ripetitore sia fatte rimbalzare via satellite - è un grande fiume di cifre. Ma a causa della sua ingegnosa segregazione elettronica, questo fiume è composto in realtà da migliaia di fiumi digitali solo apparentemente fluenti fra gli stessi argini, al pari degli scoiattoli rossi e grigi che frequentano gli stessi alberi ma non mescolano mai i propri geni.

Tornando all'universo tecnico, gli errori che si verificano nei segnali analogici non hanno una grande importanza, almeno fino a quando non vengano ripetutamente copiati. In una registrazione su nastro magnetico potrebbe essere presente un sibilo così leggero da notarlo a malapena a meno di non amplificare il suono, nel qual caso viene amplificato anche il sibilo e viene introdotto qualche nuovo rumore. Ma se si copia questo nastro, e poi si fa una copia della copia, e si ripete l'operazione più volte, tutto ciò che rimarrà dopo un centinaio di «generazioni» sarà un fischio orripilante. Quando i telefoni erano analogici poteva verificarsi un problema simile: i segnali telefonici si affievolivano viaggiando lungo il cavo e approssimativamente ogni cento miglia dovevano essere ripetuti, cioè riamplificati, e questo era un bel guaio, perché con ciascuna amplificazione si aumentava la proporzione di rumore di fondo. Anche i segnali digitali devono essere ripetuti, ma, come abbiamo già visto, quest'operazione non introduce alcun errore: le cose sono predisposte in modo tale che l'informazione possa viaggiare senza inconvenienti, indipendentemente dal numero di stazioni intermedie. E il sibilo non aumenta nemmeno dopo centinaia e centinaia di miglia.

Quand'ero bambino, mia madre mi aveva spiegato che i neuroni, cioè le cellule nervose, sono i cavi telefonici del nostro corpo. Ma il loro funzionamento è analogico o digitale? La risposta è che sono

un'interessante mescolanza di entrambi. Un neurone non è come un cavo elettrico. E' piuttosto un lungo tubo sottile attraverso il quale passano ondate di mutamenti chimici, come una sottile scia di scoppiettante polvere da sparo, sennonché, diversamente dalla polvere da sparo la cui efficacia si esaurisce, il neurone si riprende subito e dopo un brevissimo intervallo può tornare a scoppiettare. L'ampiezza assoluta dell'onda - corrispondente alla temperatura [p. 26] della polvere da sparo - può subire variazioni durante la corsa lungo il nervo, ma questo è irrilevante. Il codice lo ignora. O l'impulso chimico c'è o non c'è, al pari di due distinti livelli di tensione in un telefono digitale. Fino a questo punto il sistema nervoso è digitale. Ma gli impulsi nervosi non sono byte, e non si raggruppano in numeri di codice distinti. Al contrario, la forza del messaggio

[PAGINA 15]
(sonorità, luminosità e forse persino l'intensità di un'emozione) è codificata in termini di velocità degli impulsi. Gli ingegneri conoscono questo fenomeno come modulazione di frequenza a impulsi, la denominazione più diffusa prima che venisse adottata quella di modulazione a impulsi codificati.

La velocità di impulso è una quantità analogica, ma gli impulsi in sé sono digitali: o ci sono o non ci sono, senza mezze misure. E il sistema nervoso ne trae lo stesso beneficio di qualunque sistema digitale. Dato il modo in cui i neuroni funzionano, vi è l'equivalente di un amplificatore, non ogni cento miglia ma ogni millimetro: ben ottocento stazioni di amplificazione fra la spina dorsale e la punta delle dita. Se l'altezza assoluta dell'impulso nervoso - l'onda provocata dalla polvere da sparo - contasse, il messaggio sarebbe distorto al punto di non poter più essere

riconosciuto a una distanza superiore alla lunghezza di un braccio umano, per non parlare di quella del collo di una giraffa. Ciascuno stadio dell'amplificazione introdurrebbe altri errori casuali, come quando si duplica una registrazione su nastro dalle copie successive per ottocento volte. O quando si fa una fotocopia di una fotocopia di una fotocopia e così via. Dopo ottocento «generazioni» di fotocopie, tutto ciò che resta è un'indistinta macchia grigiastra. La codificazione digitale offre l'unica soluzione al problema dei neuroni, e la selezione naturale la ha debitamente adottata. Lo stesso vale per i geni.

Ritengo che Francis Crick e James Watson, che hanno svelato la struttura molecolare del gene, dovrebbero essere onorati per secoli come Aristotele e Platone. Essi ebbero il premio Nobel per i loro studi «in campo fisiologico o medico», il che è esatto ma riduttivo. Parlare di rivoluzione continua è praticamente una contraddizione, tuttavia non solo la medicina ma la nostra globale comprensione della vita continuerà [p. 27] a essere rivoluzionata come diretto risultato del cambiamento concettuale al quale quei due giovani studiosi diedero inizio nel 1953. I geni stessi, e le malattie genetiche, non sono che la punta dell'iceberg. La biologia molecolare dopo l'era di Watson e Crick è divenuta digitale: questo è il fatto realmente rivoluzionario.

Dopo gli studi di Crick e Watson noi sappiamo che i geni, nella loro minuta struttura interna, sono lunghe catene di informazione puramente digitale. Ma ciò che più conta è che essi sono realmente digitali, nel senso forte e pieno in cui lo sono i computer e i compact disk, non nel senso debole in cui lo è il sistema nervoso. Il codice genetico non è binario come nei computer, e non è un codice a otto livelli come in alcuni sistemi telefonici, ma è un codice quaternario, cioè composto di quattro simboli. Il meccanismo di

codificazione dei geni è stranamente simile a quello dei computer. A

[PAGINA 16]
parte le differenze di linguaggio settoriale, le pagine di una rivista di biologia molecolare potrebbero essere scambiate con quelle di una rivista che tratta della progettazione di computer. Fra le numerose altre conseguenze, questa rivoluzione digitale al centro della vita ha inferto il colpo di grazia al vitalismo, la convinzione che la materia vivente sia profondamente diversa da quella non vivente. Fino al 1953 fu ancora possibile credere che vi fosse qualcosa di fondamentalmente e irriducibilmente misterioso nel protoplasma vivente. Poi, non più. Anche i filosofi inclini a una visione meccanicistica della vita non avrebbero osato sperare in un così totale coronamento dei loro sogni più audaci.

E ora vi propongo una trama fantascientifica, possibilissima se solo si postulano tecnologie non diverse ma un po' più rapide di quelle di cui disponiamo oggi. Il professor Jim Crickson è stato rapito da una perfida potenza straniera ed è costretto a lavorare a un progetto di guerra batteriologica. Per salvare la civiltà è di vitale importanza che egli comunichi un'informazione segretissima al mondo esterno, ma tutti i normali canali di comunicazione gli sono preclusi. Eccetto uno. Il codice del dna consta di sessantaquattro triplette dette «codoni», sufficienti per un alfabeto inglese di lettere maiuscole e minuscole più dieci numerali, un carattere per [p. 28] indicare la spaziatura e un punto fermo. Il professor Crickson preleva dal laboratorio un pericoloso virus influenzale e inserisce nel suo genoma il testo completo di un messaggio per il mondo esterno, espresso in frasi perfettamente compiute. Egli ripete infinite volte il proprio messaggio nel genoma modificato del virus,

aggiungendo una frequenza «indicatrice» facilmente riconoscibile, come i primi dieci numeri primi. Poi si infetta con il virus e starnutisce in una stanza affollata. Un'epidemia di influenza spazza il mondo, e i laboratori medici di terre lontane si mettono al lavoro per identificare la sequenza del genoma del virus e trovare un vaccino. E' subito evidente che in quel genoma vi è uno strano modello ripetitivo. Messi sull'avviso dai numeri primi - che non possono essere comparsi spontaneamente - uno degli scienziati ha l'idea di applicare una tecnica di decrittazione. Di lì a poco è possibile leggere, decodificato, il messaggio che il professor Crickson aveva starnutito intorno al mondo.

Il nostro sistema genetico, che è il sistema universale di tutta la vita presente sul pianeta, è essenzialmente digitale. Con una perfetta rispondenza parola per parola sarebbe possibile codificare l'intero Nuovo Testamento nelle parti del genoma che attualmente sono occupate dal dna «spazzatura», cioè non utilizzato, almeno nel modo consueto, dall'organismo. Ciascuna cellula del nostro corpo contiene l'equivalente di quarantasei lunghissimi nastri di dati - i cromosomi - che via via rilasciano caratteri digitali attraverso numerose

testine di lettura simultaneamente operanti. I cromosomi di ciascuna cellula contengono le stesse informazioni, ma le testine di lettura dei diversi tipi di cellule cercano parti diverse del data base per i propri scopi particolari. Questo è il motivo per cui le cellule dei muscoli sono diverse dalle cellule del fegato. Non vi è alcuna forza vitale metafisica, e non vi è alcuna mistica gelatina protoplasmatica che vibri, si agiti o ribolla. La vita è semplicemente byte e byte e byte di informazioni digitali.

I geni sono pura informazione che può essere codificata, ricodificata e decodificata senza che si degradi e senza cambiamenti di significato. La pura informazione può essere copiata, ed essendo digitale, la fedeltà della copia può essere altissima. [p. 29] Le lettere del dna vengono copiate con una precisione che rivaleggia con qualsiasi cosa gli ingegneri possano attualmente fare. Esse vengono copiate di generazione in generazione, con una quantità di errori occasionali esattamente sufficiente a introdurre la varietà. Nell'ambito di questa varietà, le combinazioni codificate che diventano più numerose nel mondo saranno ovviamente e automaticamente quelle che, dopo essere state decodificate e dopo che le istruzioni siano state eseguite all'interno dell'organismo, lo indurranno ad adoperarsi attivamente per conservare e diffondere quegli stessi messaggi del dna. Noi - e noi significa tutti gli esseri viventi - siamo macchine per la sopravvivenza programmate per propagare il data base digitale che ha presieduto alla programmazione. Il darwinismo, ai nostri giorni, è inteso come sopravvivenza dei sopravvissuti a livello di puro codice digitale.

Considerando le cose a posteriori, non sarebbe potuto accadere nulla di diverso. Un sistema genetico analogico è concepibile, ma noi abbiamo già visto che cosa accade all'informazione analogica quando viene ricopiata per successive generazioni. E' come il gioco del telegrafo senza fili. Sistemi telefonici con amplificazione, audiocassette duplicate, fotocopie di fotocopie: i segnali analogici sono così vulnerabili al deterioramento cumulativo che la duplicazione non può continuare dopo un certo numero di generazioni. I geni, d'altra parte, possono copiare se stessi per dieci milioni di generazioni praticamente senza deteriorarsi. Il darwinismo opera solo perché - a parte certe mutazioni isolate, che la selezione naturale o cancella o mantiene - il processo di duplicazione è perfetto. Solo un

sistema genetico digitale è in grado di sostenere il darwinismo in un arco di tempo geologico. Il 1953, l'anno della doppia elica, è destinato a essere considerato non solo come l'anno che segnò la fine di una visione mistica e oscurantista della vita, ma, per i darwinisti, fu anche l'anno in cui la loro materia divenne digitale.

L'immagine di un fiume di informazioni puramente digitali che maestosamente fluiscono attraverso il tempo geologico dando vita a

[PAGINA 18]

tre miliardi di ramificazioni è grandiosa. Ma dove questo fiume deposita gli aspetti più familiari della vita? [p. 30] Dove deposita corpi, mani, piedi, occhi, cervelli e vibrisse, foglie, tronchi e radici? Dove deposita noi e le parti che ci compongono? Noi - noi animali, piante, protozoi, funghi e batteri - siamo solo le sponde attraverso cui scorrono rivoletti di dati digitali? In un certo senso è proprio così. Ma, come ho già lasciato intendere, c'è dell'altro. I geni non solo fanno copie di se stessi, copie destinate a passare di generazione in generazione. I geni, di fatto, stanno all'interno dei corpi, e influenzano la morfologia e il comportamento di quelli entro i quali di volta in volta si trovano. Anche i corpi sono importanti.

Il corpo di un animale come l'orso polare, per esempio, non è riducibile a due sponde fra cui scorre un fiumiciattolo digitale, ma è piuttosto una macchina di grande complessità. Tutti i geni dell'intera popolazione di orsi polari formano una collettività: essi sono buoni compagni che vivono a lungo spalla a spalla. Ciononostante non trascorrono tutto il proprio tempo in compagnia di tutti gli altri membri della collettività ma, al suo interno, cambiano partner. La collettività è l'insieme di geni che potenzialmente incontrano ogni altro gene nel suo ambito (ma non incontrano nessun membro di

alcuna dei trenta milioni di altre collettività esistenti al mondo).
Gli incontri effettivi hanno sempre luogo all'interno di una cellula del corpo dell'orso polare. E quel corpo non è un passivo ricettacolo del dna.

Tanto per cominciare, il puro e semplice numero di cellule ciascuna delle quali ha in sé un completo corredo genetico supera ogni immaginazione: circa novecento milioni di milioni in un orso maschio di grossa taglia. Se allineassimo tutte le cellule di un solo orso polare, potremmo tranquillamente coprire la distanza dalla terra alla luna e ritorno. Queste cellule appartengono a circa duecento tipi distinti, che sono essenzialmente gli stessi duecento per tutti i mammiferi: cellule che costituiscono i muscoli, i nervi, le ossa, la pelle e così via. Cellule di ciascuno di questi diversi tipi si uniscono a formare tessuti: tessuti muscolari, tessuti ossei e altri. Tutti i diversi tipi di cellule contengono le istruzioni genetiche necessarie per la costruzione di ciascuno degli altri tipi. Solo i geni adatti alla produzione di quel certo tessuto organico [p. 31] vengono attivati. Questo è il motivo per cui le cellule di tessuti diversi sono differenti nella forma e nelle dimensioni. Ancora più interessante, i geni attivati nelle cellule di un particolare tipo le inducono a conferire ai tessuti relativi una determinata forma. Le ossa non sono masse informi di tessuto duro e rigido. Hanno forme particolari, e le ossa lunghe hanno un corpo cavo ed estremità arrotondate che si adattano a corrispondenti cavità arrotondate, mentre altre ossa hanno spine di vario tipo. Le cellule sono

programmate - dai geni attivati al loro interno - a comportarsi come se sapessero dove si trovano in relazione alle loro vicine, e questo è

il modo in cui costruiscono i tessuti dando loro la forma di lobo dell'orecchio oppure di valvola cardiaca, di cristallino dell'occhio o di sfintere.

La complessità di un organismo come un orso polare è a più strati. Il corpo è un complesso insieme di organi di morfologia precisa, come il fegato, i reni, le ossa. Ciascun organo è un complesso edificio costruito con tessuti particolari i cui mattoni sono le cellule, spesso disposte a strati ma altrettanto spesso disposte in modo da formare una solida massa. Su scala molto inferiore, ciascuna cellula ha una struttura interna altamente complessa di membrane ripiegate. In queste membrane, e nell'acqua interposta, avvengono complesse reazioni chimiche di tipo diverso. In un'industria chimica appartenente alla ici o alla Union Carbide possono essere in atto parecchie centinaia di reazioni diverse, mantenute separate dalle pareti di contenitori, tubi e così via. Una cellula vivente può ospitare al proprio interno un numero analogo di reazioni chimiche simultanee. Entro certi limiti le sue membrane sono come i recipienti di vetro dei laboratori, ma l'analogia non è perfettamente calzante per due ragioni. Innanzitutto, sebbene molte reazioni chimiche avvengano fra le membrane, molte altre avvengono all'interno della sostanza che compone le membrane stesse. In secondo luogo, vi è un modo più importante in cui le diverse reazioni sono tenute separate: ciascuna reazione è catalizzata dai propri enzimi specifici.

Un enzima è una grossa molecola la cui forma tridimensionale accelera un particolare tipo di reazione chimica fornendo [p. 32] una superficie che favorisce la reazione. Poiché ciò che conta nelle molecole biologiche è la loro forma tridimensionale, potremmo considerare un enzima come un grosso macchinario accuratamente predisposto per attivare una linea di produzione di molecole di forma particolare. All'interno di ciascuna cellula, quindi, centinaia di

reazioni chimiche possono svolgersi simultaneamente e separatamente sulla superficie di diverse proteine enzimatiche. Quali particolari reazioni chimiche avvengano in una determinata cellula dipende da quali particolari tipi di enzimi sono presenti in grandi quantità. Ciascun enzima - compresa la sua forma, che è un elemento importantissimo - viene sintetizzato sotto l'influenza deterministica di un particolare gene. Per essere specifici, la precisa sequenza di parecchie centinaia di lettere codificanti del gene determina, mediante una serie di regole che ci sono interamente note (il codice genetico), la sequenza di amminoacidi nella molecola enzimatica. Ciascuna molecola enzimatica è una catena lineare di amminoacidi, e ciascuna catena lineare di amminoacidi si avvolge su se stessa assumendo una peculiare struttura tridimensionale, una sorta di nodo

in cui parti della catena formano legami incrociati con altre parti. L'esatta struttura tridimensionale del nodo è determinata dalla sequenza lineare degli amminoacidi, e quindi dalla sequenza lineare delle lettere codificanti contenute nel gene. Dunque, le reazioni chimiche che avvengono in una cellula sono determinate dai tipi di geni che vengono attivati.

Che cosa, allora, determina quali geni vengano attivati in una particolare cellula? I componenti chimici già presenti nella cellula. Ma qui subentra un paradosso, che tuttavia non è insormontabile. La sua soluzione è molto semplice in linea di principio ma complicata nei dettagli, ed è quella che i progettisti di computer chiamano bootstrapping, o autoelevazione. Negli anni Sessanta, quando iniziai a usare il computer, tutti i programmi da caricare erano registrati su un nastro di carta. (I computer americani di quel periodo

utilizzavano schede perforate, ma il principio era lo stesso.) Prima di riuscire a caricare il lungo nastro relativo a un programma di una certa complessità bisognava preventivamente caricare un programma più limitato denominato bootstrap, la cui unica finalità [p. 33] era dare al computer le istruzioni per poter caricare il programma registrato sul nastro di carta. Ma - e qui subentra il paradosso - in qual modo il bootstrap veniva caricato? Oggi il suo equivalente è già compreso nell'hardware, ma a quel tempo bisognava accendere alcuni interruttori secondo una sequenza fissa e pressoché rituale. Questa sequenza istruiva il computer a cominciare a leggere la prima parte del nastro bootstrap. Questa prima parte, a sua volta, forniva qualche ulteriore indicazione sul come leggere la parte successiva e così via. Quando il computer aveva assimilato tutto il contenuto del nastro bootstrap, era finalmente pronto a leggere qualunque nastro cartaceo e a compiere un lavoro utile.

Allo stadio iniziale dello sviluppo embrionale una singola cellula, l'uovo fecondato, si divide in due; ciascuna delle due si divide ulteriormente in due a dare quattro nuove cellule; ciascuna delle quattro si divide ancora in due per formarne otto, e così di seguito. La suddivisione esponenziale è tale per cui entro qualche dozzina di generazioni il numero di cellule raggiunge l'ordine di grandezza dei trilioni. Ma se il processo constasse solo di questo, sarebbero trilioni di cellule tutte uguali fra loro. Come fanno a differenziarsi in cellule del fegato, dei reni, dei muscoli e così via, in ciascuna delle quali sono attivati differenti geni e differenti enzimi? Con il bootstrapping, e infatti succede proprio così. Sebbene appaia come una sfera, l'uovo ha una polarità nella sua chimica interna. Inoltre ha una sommità e una base e, in molti casi, un davanti e un dietro (conseguentemente ha anche un lato sinistro e un lato destro). Queste polarità si manifestano sotto forma di

gradienti chimici. Le concentrazioni di alcuni componenti chimici

[PAGINA 21]
aumentano con regolarità in senso antero-posteriore, mentre altre aumentano dall'alto verso il basso. Questi gradienti iniziali sono molto semplici, ma sono sufficienti a formare il primo stadio del bootstrapping.

Quando una cellula uovo si è divisa in un certo numero di cellule - poniamo trentadue, corrispondenti a cinque suddivisioni - alcune di esse avranno più della quota loro spettante dei componenti chimici che si trovavano alla sommità, mentre altre avranno più della quota loro spettante dei componenti chimici che si trovavano alla base. Inoltre le cellule [p. 34] possono essere mal bilanciate per quanto riguarda i componenti chimici dei gradienti in senso antero-posteriore. Queste differenze sono sufficienti a fare sì che in cellule diverse si producano differenti combinazioni di geni attivi. Ne consegue che differenti combinazioni enzimatiche saranno presenti nelle cellule di differenti parti dell'embrione allo stadio iniziale. Questo, a sua volta, farà sì che differenti combinazioni di ulteriori geni si producano in cellule diverse. Linee di cellule, dunque, invece di rimanere identiche ai propri progenitori-cloni all'interno dell'embrione, si differenziano.

Queste divergenze sono ben diverse dalle divergenze di specie di cui abbiamo trattato prima. Le prime sono programmate e prevedibili nei dettagli, mentre le seconde sono il risultato fortuito e del tutto imprevedibile di casualità geografiche. Inoltre, quando due specie divergono, divergono anche i geni stessi, e si verifica ciò che, forse un po' fantasiosamente, ho definito «il lungo addio». Quando linee di cellule all'interno dell'embrione divergono, entrambe

ricevono gli stessi geni, e ciascuna li riceve tutti. Ma cellule diverse ricevono combinazioni differenti di componenti chimici, e alcuni geni operano per attivarne o disattivarne altri. In questo modo il bootstrapping continua, e terminerà con l'ottenimento dell'intero repertorio dei diversi tipi di cellule.

Durante lo sviluppo, l'embrione non si limita a differenziarsi in circa duecento diversi tipi cellulari, ma intraprende eleganti mutamenti dinamici della morfologia sia esterna che interna. Forse il più visibile è uno dei primi, ed è il processo noto con il nome di gastrulazione. Il noto embriologo Lewis Wolpert è giunto ad affermare: «Non la nascita, il matrimonio o la morte, ma la gastrulazione è il più importante momento della nostra vita». In questa fase, una palla cava di cellule si riorganizza formando una coppa delimitata da due strati cellulari. Sostanzialmente tutti i processi embriologici del regno animale attraversano la fase della gastrulazione, che è considerata il fondamento comune su cui si basa la diversità embriologica. Ho menzionato la gastrulazione come esempio - un esempio particolarmente vistoso - dei movimenti incessanti di interi strati di cellule che, come nell'origami, [p. 35]

assumono di volta in volta una forma diversa, movimenti che spesso caratterizzano lo sviluppo embrionale.

Al termine di un origami particolarmente impegnativo, dopo numerose invaginazioni ed evaginazioni, dopo numerose e bene orchestrate crescite differenziali di parti dell'embrione a spese di altre parti, dopo la differenziazione in centinaia di tipi di cellule chimicamente e fisicamente specializzate, quando il loro numero complessivo ha raggiunto l'ordine dei trilioni, il prodotto finale è un bambino. No,

nemmeno il bambino è il vero prodotto finale, poiché l'intera crescita dell'individuo - anche in questo caso caratterizzata dal maggiore sviluppo di alcune parti rispetto ad altre - oltre l'età adulta e fino alla vecchiaia, dovrebbe essere considerata l'estensione dello stesso globale processo embriologico.

Gli individui variano a causa di differenze in dettagli quantitativi della loro embriologia globale. Uno strato di cellule cresce un po' più rapidamente prima di ripiegarsi su se stesso, e provate a indovinare qual è il risultato: un naso aquilino invece di un naso camuso, oppure i piedi piatti, che possono salvarvi la vita perché sarete riformati alla visita di leva, oppure una particolare conformazione della scapola che vi predispone a essere particolarmente abili nel lancio del giavellotto (ma, se è per questo, anche a tirare granate o palle da cricket, secondo le circostanze). Talvolta, cambiamenti individuali nell'origami degli strati cellulari possono avere conseguenze tragiche, come quando un bambino nasce con due moncherini al posto delle braccia e senza mani. Le differenze individuali che non si manifestano nell'origami cellulare ma in modo puramente chimico possono avere conseguenze non meno importanti: l'incapacità di digerire il latte, la predisposizione all'omosessualità o all'allergia alle arachidi, oppure la propensione a percepire il gusto del mango come un orripilante sapore di trementina.

Lo sviluppo embrionale è un processo fisico e chimico molto complesso, e i cambiamenti nei dettagli a qualsiasi stadio possono avere notevoli conseguenze. Ciò non sorprende se si tiene presente la complessità del bootstrapping che avvia il processo. Molte delle differenze nel modo in cui un individuo si sviluppa sono dovute a differenze ambientali: scarsa ossigenazione [p. 36] o esposizione al talidomide, per esempio. Molte altre differenze sono dovute ai geni,

non considerati isolatamente ma nella loro interazione sia con altri geni sia con differenti condizioni ambientali. Un processo tanto complicato, caleidoscopico, caratterizzato da un bootstrapping complesso e reciprocamente interagente quale lo sviluppo embrionale è un processo a un tempo forte e sensibile. E' forte nel senso che respinge molti mutamenti potenziali e riesce a produrre un bambino vitale in condizioni talora avverse; sensibile ai cambiamenti in

quanto non esistono due individui - nemmeno fra i gemelli cosiddetti identici - che siano davvero identici in ogni loro caratteristica.

E ora torniamo al punto essenziale. Nella misura in cui le differenze fra individui sono dovute ai geni (che può essere una misura ampia o ristretta) la selezione naturale può favorire alcune configurazioni dell'origami oppure una certa chimica embriologica e sfavorirne altre. Se la capacità di compiere lanci efficaci ha un effetto, per quanto minimo, sulla probabilità dell'individuo di sopravvivere fino all'età adulta e generare prole, nella misura in cui l'abilità di lanciare è influenzata dai geni, quei geni avranno una probabilità corrispondentemente maggiore di essere «vincenti» e passare alla generazione successiva. Qualsiasi individuo può morire per ragioni che non hanno nulla a che fare con le sue capacità di lancio. Ma un gene che tende a migliorare le capacità di lancio negli individui in cui è presente - e non in quelli in cui è assente - albergherà in più corpi, sia più adatti sia meno adatti, per parecchie generazioni. Dal punto di vista di quel particolare gene, le altre cause di morte non sono determinanti. Dalla sua prospettiva esso scorge soltanto il lungo fiume di dna fluente per generazioni, che solo temporaneamente è ospitato in particolari corpi e solo

temporaneamente condivide un corpo con geni compagni che potrebbero avere successo oppure no.

Con il trascorrere del tempo il fiume si riempie di geni adatti a sopravvivere per diverse e svariate ragioni: un piccolo miglioramento della capacità di lanciare un giavellotto, un piccolo miglioramento della capacità di individuare un veleno mediante il gusto, o qualsiasi altro vantaggio evolutivo. I [p. 37] geni che, in media, sono meno dotati per la sopravvivenza - perché tendono a causare l'astigmatismo nei corpi che successivamente abitano, i quali di conseguenza saranno meno capaci di lanciare efficacemente un giavellotto, oppure perché tendono a rendere i corpi in cui abitano meno attraenti, e quindi a diminuire le probabilità di accoppiamento - questi geni tendono a scomparire dal fiume. Dinanzi a tutto ciò, è bene ricordare qualcosa di cui avevamo parlato in precedenza: i geni che sopravvivono e continuano a scorrere nel fiume saranno quelli adatti a sopravvivere nell'ambiente medio della specie, e forse l'aspetto più importante di questo ambiente medio sono gli altri geni della stessa specie, quelli con cui è probabile che un gene debba condividere un corpo, quelli che nuotano attraverso il tempo geologico nello stesso fiume.

NOTE:

(*) A rigor di termini, vi sono eccezioni. Alcuni animali, come gli afidi, hanno una riproduzione asessuata, mentre tecniche come la fecondazione artificiale ora ci consentono di avere figli senza

[PAGINA 24]

accoppiarci, e addirittura - poiché è possibile estrarre uova per la fecondazione in vitro da un feto femminile - senza raggiungere l'età

adulta. Ma, sotto quasi tutti gli aspetti, tutto ciò non intacca la validità delle mie affermazioni.

(**) Il lettore potrebbe tenere presenti queste osservazioni mentre consulta La vita meravigliosa di Stephen J' Gould, uno stupendo resoconto della fauna del Cambriano racchiusa negli argilloscisti di Burgess.

[p. 39] 2.

Tutta l'Africa
e la sua progenie

Spesso ci si fa un vanto di affermare che la scienza è soltanto il nostro moderno mito delle origini. Gli ebrei ebbero Adamo ed Eva, i sumeri Marduk e Gilgamesh, i greci Zeus e gli altri dèi dell'Olimpo, i norvegesi il loro Valhalla. Che cosa è l'evoluzione - domandano alcuni furbescamente - se non il nostro moderno equivalente degli dèi e degli eroi epici, né migliore né peggiore, né più veritiero né più falso? E' in voga un atteggiamento filosofico da salotto chiamato relativismo culturale. Esso, nella sua forma estrema, afferma che nella scienza non vi è più verità che nei miti tribali; la scienza, in altri termini, sarebbe solo la mitologia generata dalla nostra moderna tribù occidentale. Una volta, provocato da un antropologo, decisi di formulare il mio pensiero nel modo più radicale. Supponiamo che vi sia una tribù, dissi, in cui si crede che la luna sia una zucca lanciata nel cielo da tempi immemorabili, e sospesa fuori portata appena al di sopra delle cime degli alberi. Affermereste seriamente che la nostra verità scientifica - che la luna è lontana un quarto di milione di miglia e che il suo diametro è un quarto di quello della terra - vale quanto la zucca tribale? «Sì», rispose l'antropologo. «Noi cresciamo in una cultura che vede il mondo

scientificamente. Altri crescono in una cultura che vede il mondo diversamente. E nessuno dei due modi ha in sé più verità dell'altro.»

Mostratemi un relativista culturale a novemila metri di quota e io vi mostrerò un ipocrita. Gli aeroplani, costruiti secondo un principio scientifico, funzionano. Volano e vi portano [p. 40] dove volete andare. Gli aeroplani costruiti secondo un concetto tribale o mitologico, come quelli finti dei culti cargoisti che si trovano nelle radure in mezzo alla giungla, o come le ali di Icaro modellate con la cera d'api, non stanno in aria. (*) Se raggiungi in aereo un congresso internazionale di antropologi o di critici letterari, la ragione per cui arrivi a destinazione - invece di precipitare in un campo arato - è che un gruppo di ingegneri che impiega i dati

fornitigli dalla scienza occidentale ha fatto i calcoli giusti. La scienza occidentale, basandosi su affidabili prove del fatto che la luna gira intorno alla terra alla distanza di circa un quarto di milione di miglia e utilizzando un computer e una navicella spaziale entrambi progettati avvalendosi di dati altrettanto scientifici, è riuscita a fare sbarcare sulla Luna dei terrestri. La scienza tribale, con la sua convinzione che la luna sia poco al di sopra delle cime degli alberi, la raggiungerà solo in sogno.

Raramente mi capita di tenere una conferenza senza che qualcuno fra il pubblico se ne salti fuori con qualche brillante argomentazione simile a quella del mio collega antropologo, solitamente sollevando un mormorio di approvazione. Senza dubbio coloro che approvano si sentono buoni, liberali e non razzisti. Un altro modo ancora più sicuro per suscitare approvazione è affermare: «Fondamentalmente, è

dalla fede che ci è derivata la nostra fiducia nell'evoluzione, che [p. 41] quindi non è migliore della fede di altri nel Giardino dell'Eden».

Ciascuna tribù ha il proprio mito delle origini, una storia utile per spiegare l'universo, la vita e l'umanità. Vi è un senso in cui la scienza fornisce effettivamente l'equivalente di tutto ciò, almeno per i membri della nostra società moderna che hanno un'istruzione. La scienza può addirittura essere descritta come una religione, e io, non del tutto per scherzo, ho pubblicato un breve articolo in cui ipotizzavo che la scienza fosse adatta a essere insegnata nelle ore di educazione religiosa. (**) (In Gran Bretagna, l'educazione religiosa è una parte obbligatoria dell'insegnamento scolastico, al contrario degli Stati Uniti in cui è bandita per timore di offendere qualcuna delle numerosissime fedi religiose reciprocamente incompatibili.) La scienza condivide con la religione il convincimento di poter rispondere a profondi interrogativi sulle origini, sulla natura della vita e sul cosmo. Ma la rassomiglianza finisce qui. Le convinzioni scientifiche sono suffragate da prove e danno luogo a risultati, ma non è lo stesso per i miti e le credenze.

Di tutti i miti delle origini, la storia ebraica del Giardino dell'Eden ha pervaso in tal modo la nostra cultura da riuscire a legare il proprio nome a un'importante teoria scientifica sulla nostra discendenza, detta di «Eva Africana». A Eva Africana dedicherò il presente capitolo in parte perché mi consentirà di sviluppare la metafora del fiume del dna ma anche perché ho intenzione di confrontarla, come ipotesi scientifica, con la leggendaria matriarca del Giardino dell'Eden. Se vi riuscirò, voi troverete la verità ancora più interessante e forse anche più poeticamente commovente di quanto possa essere il mito. Inizieremo con un esercizio di puro ragionamento, la cui importanza sarà presto chiara.

[PAGINA 26]

Noi abbiamo due genitori, quattro nonni, otto bisnonni e così via. Con ciascuna generazione, il numero dei progenitori si raddoppia. Se risaliamo di un numero g di generazioni, il numero dei progenitori è 2 moltiplicato per se stesso g volte, [p. 42] cioè 2 elevato a g. Ma anche in base a semplici considerazioni teoriche, possiamo rapidamente renderci conto che le cose non stanno così. Per convincerci ci basta risalire di relativamente poco, per esempio fino al tempo di Gesù, duemila anni or sono. Se conteggiamo - ed è un calcolo cauto - quattro generazioni per secolo, cioè se presupponiamo che la gente si sia riprodotta all'età media di venticinque anni, duemila anni corrispondono appena a ottanta generazioni. Il dato reale probabilmente è superiore (fino a tempi recenti, spesso le donne diventavano madri in giovanissima età) ma questo è solo un calcolo fatto a tavolino, e per la nostra tesi certi dettagli non sono rilevanti. Due elevato a 80 dà un numero enorme, e cioè uno seguito da 24 zeri, equivalente a un trilione di trilioni. E così voi dovreste avere un milione di milioni di milioni di milioni di progenitori contemporanei di Gesù, e altrettanti dovrei averne io! Ma duemila anni or sono la popolazione mondiale era appena una minuscola frazione del numero di progenitori che abbiamo calcolato.

Ovviamente deve esserci un errore, ma dove? Il calcolo è esatto. L'unica cosa sbagliata è avere assunto che la popolazione si raddoppi a ogni generazione. Di fatto, non abbiamo tenuto presente che talvolta i cugini si sposano. Io ho presunto che ciascuno di noi abbia otto bisnonni. Ma un figlio nato dal matrimonio fra cugini

primi ha solo sei bisnonni, perché i nonni comuni dei due cugini sono in due modi distinti i bisnonni del bambino. «E con ciò?» qualcuno potrebbe chiedere. I matrimoni fra cugini possono avvenire occasionalmente (la moglie di Charles Darwin, Emma Wedgewood, era sua cugina prima), ma certamente questo non succede abbastanza spesso da fare differenza. E invece fa differenza, perché il termine «cugino» per il nostro ragionamento comprende i cugini in secondo grado, in quinto grado, in sedicesimo grado e così via. Quando si considera un grado di parentela così distante, ogni matrimonio è un matrimonio fra cugini. Talora qualcuno si vanta di essere un lontano parente della regina, ma è una millanteria perché tutti siamo distanti cugini della regina e di tutti gli altri, in più modi di quanti se ne possano ricostruire. La sola cosa speciale che hanno i re e [p. 43] gli aristocratici è che essi possono ricostruire esplicitamente la loro genealogia. Come il quattordicesimo conte di Home disse rispondendo a un avversario politico che aveva ironizzato sul suo titolo, «Io suppongo che anche il signor Wilson, se lei ci pensa bene, sia il quattordicesimo signor Wilson».

In conclusione, noi tutti siamo reciprocamente cugini molto più

prossimi di quanto solitamente si pensi, e i nostri progenitori sono in numero molto inferiore di quanto i semplici calcoli suggerirebbero. Nel tentativo di mantenere il suo ragionamento lungo questa linea, un giorno chiesi a una studentessa di fare una stima ragionata dell'epoca in cui il suo e mio progenitore comune più recente fosse vissuto. Guardandomi dritto in faccia e senza esitare lei mi rispose lentamente, col suo accento contadino: «Alle antropomorfe». Una stima intuitiva comprensibile, che tuttavia ha un

margine di errore del 10'000 per cento circa. Questa risposta presuppone una divergenza misurata in milioni di anni. La verità invece è che il nostro più recente progenitore comune poteva essere vissuto non più di un paio di secoli fa, probabilmente molto dopo Guglielmo il Conquistatore. Inoltre eravamo certamente cugini in molti modi diversi simultaneamente.

Il modello di ascendenza che ha condotto al nostro calcolo tanto erroneamente gonfiato è quello dell'albero evolutivo che a ogni generazione produce nuovi rami. Rovesciato, ma ugualmente sbagliato, è l'analogo modello di discendenza. Un tipico individuo ha due figli, quattro nipoti, otto pronipoti e così via fino a impossibili trilioni di discendenti nell'arco di pochi secoli. Un modello di ascendenza e discendenza molto più realistico è il fiume di geni descritto nel primo capitolo. Fra le sue rive i geni fluiscono senza tregua col trascorrere del tempo. Le correnti si dividono per poi tornare a riunirsi quando i geni si incrociano lungo il fiume del tempo. Ora immaginiamo di attingere una secchiata d'acqua a intervalli e a distanze regolari lungo il suo corso. Coppie di molecole della stessa secchiata saranno probabilmente state compagne in precedenza, a intervalli, mentre scorrevano lungo il fiume, e lo saranno anche in futuro. Ma è altrettanto probabile che siano state ampiamente separate nel passato, e lo saranno in futuro. Non è facile ricostruire i punti di incontro, [p. 44] tuttavia possiamo essere matematicamente certi che i contatti si verificano, nel senso che se due geni non sono in contatto in un punto particolare, non dovremo cercare molto lontano né nell'una né nell'altra direzione per ritrovare un altro punto in cui si sono incontrati o si incontreranno.

Può darsi che una donna non sappia di essere cugina del proprio marito, ma è statisticamente probabile che non debba risalire troppo

il proprio albero genealogico prima di individuare il punto di incontro con il ramo familiare dell'uomo che ha sposato. Guardando nell'altra direzione, verso il futuro, avere buone probabilità di condividere discendenti con nostro marito o nostra moglie potrebbe sembrare ovvio. Ma qui subentra un pensiero ancora più interessante. La prossima volta che vi trovate in un gruppo di persone numeroso - per esempio a un concerto o a una partita di calcio - guardatevi

intorno e fate la seguente riflessione: se in futuro avrete discendenti, con tutta probabilità a quello stesso concerto sono presenti alcuni vostri co-progenitori. I nonni degli stessi nipoti solitamente sanno di essere co-progenitori, e questo deve necessariamente dar loro un senso di affinità indipendentemente da quanto si trovino bene insieme. Possono guardarsi l'un l'altro e dire: «Beh, potrà non piacermi molto, ma il suo dna è mescolato col mio nel nostro comune nipote, e noi possiamo sperare di condividere dei discendenti in futuro, quando non ci saremo più. E certamente questo pensiero crea un legame fra noi». Ma è importante sottolineare che se siamo davvero benedetti da una discendenza, alcuni dei perfetti sconosciuti presenti al concerto saranno probabilmente nostri co-progenitori. Ciò che possiamo fare è scorrere lo sguardo sul pubblico e domandarci quali individui, maschi o femmine, siano destinati a condividere i nostri discendenti e quali no. Voi e io, chiunque siate e quale che sia il vostro colore e il vostro sesso, potremmo benissimo essere co-progenitori. Il vostro dna potrebbe essere destinato a mescolarsi con il mio. Benone!

E ora supponiamo di fare un viaggio nel passato a bordo di una macchina del tempo, forse fino alla folla raccolta al Colosseo o,

ancora prima, in un giorno di mercato a Ur, o addirittura più indietro. Diamo un'occhiata alla folla, come abbiamo [p. 45] fatto con il pubblico al concerto. Ciò di cui ci rendiamo conto immediatamente è che possiamo suddividere questi individui scomparsi da tanto tempo in due e due sole categorie: quelli che sono nostri progenitori e quelli che non lo sono. Il che è abbastanza ovvio, ma ci conduce a una verità degna di nota. Se la macchina del tempo ci ha trasportati sufficientemente indietro, possiamo suddividere le persone che incontriamo in progenitori di ogni essere umano vivente nel 1995 e coloro che non sono progenitori di esseri umani viventi nel 1995. Non ci sono vie di mezzo. Ciascun individuo su cui posiamo gli occhi appena usciti dalla nostra macchina del tempo o è un progenitore umano universale o è morto senza lasciare discendenti.

Questo è un pensiero che potrebbe risultare sconvolgente, ma provarne la veridicità è facilissimo. Tutto ciò che dobbiamo fare è lasciarci condurre dalla nostra macchina del tempo in un'epoca lontanissima, diciamo trecentocinquanta milioni di anni or sono, quando i nostri progenitori erano pesci polmonati dalle pinne lobate che stavano emergendo dall'acqua per diventare anfibi. Se un particolare pesce è mio progenitore, sarebbe inconcepibile che non fosse anche un vostro progenitore. Se non lo è, ciò significherebbe che la mia e la vostra linea di discendenza si sono evolute indipendentemente, senza incrociarsi, dai pesci attraverso gli anfibi, i rettili, i mammiferi, i primati, le antropomorfe e gli ominidi, dando origine a noi, così simili da poterci parlare e, se di

sesso diverso, da poterci accoppiare generando dei figli. E ciò che vale per voi e per me vale per ciascuna coppia di esseri umani.

Abbiamo dimostrato che se viaggiamo abbastanza indietro nel tempo ciascun individuo che incontriamo deve essere il progenitore o di tutti noi o di nessuno di noi. E' evidente che non abbiamo bisogno di risalire al pesce polmonato - una reductio ad absurdum - ma quanto dobbiamo tornare indietro prima di incontrare il progenitore universale di tutti gli esseri umani viventi nel 1995? Questa è una domanda molto più difficile, ed è il prossimo argomento a cui mi voglio dedicare. La risposta non può essere teorica, giacché abbiamo bisogno [p. 46] di informazioni concrete, di misure fornite dal rigoroso universo dei fatti specifici.

Sir Ronald Fisher, lo straordinario genetista e matematico inglese che può essere considerato sia il più grande erede di Darwin operante nel Xx secolo sia il padre della moderna statistica, nel 1930 osservò:

«Sono solo le barriere geografiche e altri ostacoli al rapporto sessuale fra razze diverse ['''] ad avere impedito all'umanità di condividere - a parte gli ultimi mille anni - un'ascendenza praticamente identica. L'ascendenza dei membri della stessa nazione può differire ben poco oltre gli ultimi 500 anni; a 2'000 anni le uniche differenze che sembrano permanere possono essere quelle fra razze etnograficamente distinte; queste ['''] potrebbero essere veramente antiche; ma ciò può essersi verificato solo se ammettiamo che per un tempo lunghissimo non vi fu alcuna mescolanza di sangue fra i diversi gruppi.»

Nei termini della nostra metafora Fisher afferma che i geni di tutti gli individui di una razza geograficamente unita fluiscono lungo lo stesso fiume. Ma al momento di citare delle cifre precise - cinquecento anni, duemila anni, l'antichità della separazione fra razze diverse - Fisher dovette basarsi su congetture, quantunque ben meditate. I fatti connessi a queste valutazioni non erano ancora noti

al suo tempo, mentre ora, con la rivoluzione avvenuta nella biologia molecolare, abbiamo addirittura l'imbarazzo della scelta. E' la biologia molecolare che ci ha donato la carismatica Eva Africana.

Quella del fiume digitale non è la sola metafora che sia stata impiegata. L'idea di paragonare il dna contenuto in ciascuno di noi a una sorta di Bibbia di famiglia ha un certo fascino. Il dna è un testo molto lungo, scritto, come abbiamo visto nel capitolo precedente, con un alfabeto di quattro lettere. Le lettere sono state scrupolosamente copiate dai nostri progenitori, e solo da essi, con notevole fedeltà anche per i più lontani. Confrontando i testi conservati in persone differenti, dovrebbe essere possibile ricostruire il loro rapporto di cuginanza e risalire al progenitore comune. I cugini più lontani, [p. 47] il cui dna ha avuto più tempo

per divergere - ad esempio, norvegesi e aborigeni australiani - dovrebbero differire in un maggior numero di parole. Gli studiosi fanno questo tipo di confronto fra le diverse versioni dei testi sacri, ma sfortunatamente, nel caso degli archivi del dna, vi è un ostacolo insidioso: il sesso.

Il sesso è l'incubo degli archivisti. Invece di lasciare intatti i testi ancestrali, pur ammettendo qualche inevitabile errore occasionale, esso attacca vigorosamente le testimonianze e non demorde fino a che non le abbia distrutte. Non vi è elefante che abbia mai provocato tanti danni in un negozio di porcellane quanti sono i guasti che il sesso può arrecare agli archivi del dna. Nello studio dei testi sacri non vi è nulla di simile. Solitamente un filologo che voglia risalire alle origini di un testo come, ad esempio, il Cantico dei Cantici si rende conto che le cose non stanno

così come appaiono a prima vista. Il Cantico contiene strani passaggi sconnessi, e lascia intuire che sia stato composto con frammenti di più poemi diversi, alcuni - ma solo alcuni - erotici. Contiene errori - mutazioni - specialmente nella traduzione. «Prendeteci le volpi, le volpi piccoline, che guastano le vigne» è frutto di un errore di traduzione, anche se la continua ripetizione ha conferito al passo un fascino pressoché irresistibile. La traduzione più corretta è «Prendeteci i pipistrelli, i piccoli pipistrelli amanti della frutta'"»:

«Poiché sì, l'inverno è passato@ cessata è la pioggia, se n'è andata.@ I fiori sono apparsi nei campi,@ il tempo del canto è tornato@ e la voce della tartaruga@ si ode nella nostra terra.@»

Sono riluttante a rovinare l'incanto poetico di questo passo facendo osservare che anche qui vi è un'indubbia mutazione. Inserite «tortora» al posto di «tartaruga», come recitano le moderne versioni, più corrette ma anche più grevi, e il ritmo del verso ne risentirà. Ma questi sono errori minimi, inevitabili, piccole degradazioni che dobbiamo aspettarci quando [p. 48] i documenti non sono stampati a migliaia di copie o registrati su dischetti ad alta fedeltà ma copiati e ricopiati da poveri mortali muniti solo di deperibili papiri quali erano gli scribi.

Ma ora completiamo il quadro generale con la questione del sesso. (No, nel senso che intendo io, il sesso non ha nulla a che fare con il Cantico dei Cantici.) Il sesso, nel confronto che intendo proporre, equivale a strappar via metà del documento, in forma di frammenti scelti a caso, e mescolarla con una metà, ugualmente frammentata, di un altro documento. Per quanto incredibile e vandalica questa operazione possa apparire, è esattamente ciò che accade ogniqualvolta si costituisce una cellula sessuale. Per esempio, quando un maschio fabbrica uno spermatozoo, i cromosomi che

egli ha ereditato dal padre si appaiano ad uno ad uno con quelli che

[PAGINA 31]
ha ereditato dalla madre, scambiandosi reciprocamente grosse porzioni cromosomiche. I cromosomi di un bambino sono un'irreversibile, casuale e complessa mescolanza di quelli dei suoi genitori, di quelli dei suoi nonni e, via via, di quelli dei suoi progenitori sempre più lontani. In quelli che definiamo testi antichi, le lettere, e forse le parole, possono sopravvivere intatte per generazioni. Ma i capitoli, le pagine e persino i paragrafi sono separati dal resto e poi ricombinati con una spietata efficienza tale da renderli pressoché inutili come mezzo di ricostruzione storica. Per quanto riguarda la storia dei nostri progenitori, il sesso è il grande mistificatore.

Noi possiamo usare gli archivi del dna per ricostruire la storia umana ogniqualvolta il sesso non faccia parte del quadro. Mi vengono in mente due esempi significativi. Uno è quello di Eva Africana, di cui mi occuperò più tardi. L'altro è la ricostruzione di una progenitura ancora più antica, ovvero la ricerca di rapporti fra specie, e non entro una specie. Come abbiamo visto nel capitolo precedente, la mescolanza sessuale ha luogo solo nell'ambito della specie. Quando una specie genitrice dà vita a una specie figlia, il fiume genico si suddivide in due rami. Dopo che essi, divergendo, si sono allontanati per un arco temporale sufficiente, il rimescolamento sessuale all'interno di ciascun fiume, ben lontano dall'essere [p. 49] un impedimento per l'archivista genetico, contribuisce invece alla ricostruzione dell'ascendenza e dei rapporti di cuginanza fra specie. Il sesso intorbida le testimonianze solo quando si studia la cuginanza intraspecifica. Nei rapporti di cuginanza interspecifica, al contrario, il sesso aiuta perché tende automaticamente a

confermare che ciascun individuo è un buon esempio genetico dell'intera specie. Non importa accertare quale secchiata sia stata attinta dal fiume genico perché si è comunque sicuri che essa è rappresentativa dell'acqua che vi scorre.

Una comparazione fra testi di dna prelevati da rappresentanti di specie diverse è già stata fatta, lettera per lettera, allo scopo di ricostruire l'albero genealogico delle specie. Inoltre, secondo un'influente scuola di pensiero, è possibile datare le divergenze evolutive. Questa possibilità ci è offerta da un concetto tuttora controverso, quello dell'«orologio molecolare», secondo cui le mutazioni in qualsiasi regione del testo genetico si verificano a ritmo costante ogni milione di anni. Fra breve riprenderemo questa ipotesi.

Nei nostri geni, il «paragrafo» che descrive la proteina chiamata citocromo c è lungo 339 lettere. Cambiamenti di dodici lettere distinguono il citocromo c umano da quello del cavallo, un nostro cugino piuttosto distante. Solo una lettera ci separa invece dalle scimmie (i nostri cugini più prossimi), e una sola lettera separa il cavallo dal mulo (i quali, fra loro, sono i cugini più prossimi). Tre

lettere separano il cavallo dal maiale (che sono cugini un po' più distanti), e una differenza di quarantacinque lettere separa l'uomo dai lieviti e il maiale dai lieviti. Non sorprende che questo dato sia identico perché se noi risaliamo il fiume che ha condotto all'uomo constatiamo che confluisce con quello che ha condotto al maiale molto più recentemente del momento in cui il fiume comune dell'uomo e del maiale confluisce con il fiume che conduce ai lieviti. Ma in questi numeri vi è una certa confusione. Il numero di

lettere cambiate nel citocromo c che segna la separazione del cavallo dai lieviti non è quarantacinque ma quarantasei. Ciò non significa che il maiale sia un cugino più prossimo dei lieviti di quanto lo sia il cavallo, poiché essi, in quanto vertebrati - anzi, in quanto animali - sono [p. 50] ugualmente distanti dai lieviti. Forse un cambiamento in più si insinuò nella linea che condusse al cavallo dal tempo del progenitore più recente che questo condivide con il maiale. Ma non ha importanza. Nel complesso, il numero dei cambiamenti delle lettere del citocromo c che separano due esseri viventi è molto simile a quello che potevamo aspettarci in base a precedenti idee sul modello di ramificazione dell'albero evolutivo.

La teoria dell'orologio molecolare, come abbiamo visto, afferma che il tasso di cambiamento di un determinato brano di testo per milione di anni è praticamente costante. Dei quarantasei cambiamenti delle lettere del citocromo c che separano il cavallo dai lieviti, si presume che circa la metà si siano verificati durante l'evoluzione dal progenitore comune al cavallo attuale e circa la metà durante l'evoluzione dal progenitore comune ai lieviti attuali (com'è ovvio, è occorso esattamente lo stesso numero di milioni di anni perché i due rami evolutivi giungessero rispettivamente al cavallo attuale e ai lieviti attuali). Sulle prime può sembrare un'affermazione sorprendente. Dopo tutto, è abbastanza probabile che il progenitore comune assomigliasse più a un lievito che a un cavallo. Ma tutto concorda se si ammette l'assunzione - sempre più spesso accettata da quando fu proposta dall'eminente genetista nipponico Motoo Kimura - che gran parte dei testi genetici possa cambiare liberamente senza che il significato del testo venga modificato.

Una buona analogia si ottiene variando i caratteri di una frase stampata. «Un cavallo è un mammifero.» «Un lievito è un fungo». Il significato di queste affermazioni è forte e chiaro, anche se

ciascuna parola è stampata con un carattere diverso. L'orologio molecolare segna ticchettando il trascorrere dei milioni di anni in modo equivalente agli insignificanti cambiamenti di carattere. I cambiamenti che sono soggetti alla selezione naturale e che determinano la differenza fra un cavallo e un lievito - cioè i cambiamenti di significato delle frasi - sono soltanto la punta dell'iceberg.

[PAGINA 33]

Alcune molecole hanno un tasso di mutazione più rapido di altre. Il citocromo c si evolve con relativa lentezza: circa una lettera ogni venticinque milioni di anni. Ciò probabilmente [p. 51] è dovuto al fatto che la vitale importanza del citocromo c per la sopravvivenza di un organismo dipende fortemente dalla sua forma dettagliata. La maggior parte dei cambiamenti che possono avvenire in una molecola la cui forma è così importante non sono tollerati dalla selezione naturale. Altre proteine, i fibrinopeptidi, nonostante che abbiano una grande importanza continuano a funzionare ugualmente bene sotto forma di numerose varianti. I fibrinopeptidi servono per la coagulazione del sangue, e possono cambiare in gran parte dei dettagli senza che la loro funzione venga meno. In queste proteine il tasso di mutazione si aggira intorno a una lettera ogni seicentomila anni, una velocità oltre quaranta volte maggiore di quella del citocromo c. I fibrinopeptidi, di conseguenza, non sono utili per la ricerca dei progenitori più antichi ma lo sono per la ricerca dei più recenti, per esempio nell'ambito dei mammiferi. Esistono centinaia di differenti proteine, e ciascuna cambia al proprio ritmo caratteristico ogni milione di anni, cosicché ciascuna è utilizzabile indipendentemente dalle altre per la ricostruzione di alberi

evolutivi. Da tutte è stato ricavato approssimativamente lo stesso albero, e ciò ha offerto una valida testimonianza, ammesso che ve ne fosse bisogno, della veridicità del darwinismo.

Il nostro dibattito era iniziato con la constatazione che il rimescolamento sessuale rende confusa la documentazione storica. Avevamo individuato due diversi modi per eludere gli effetti di tale componente, e avevamo già parlato di uno dei due, basato sulla certezza che il sesso non mescola i geni di specie diverse. Questo ci apre la possibilità di utilizzare sequenze di dna per ricostruire gli antichissimi alberi evolutivi dei nostri progenitori vissuti molto prima della comparsa dell'uomo. Ma, come abbiamo già visto, se ci spingiamo così lontano constateremo con certezza che tutti gli uomini discendono dallo stesso progenitore. Tuttavia ciò che noi desideravamo era scoprire fino a quando, in epoca recente, potevamo continuare a sostenere la comune progenitura di tutti gli uomini, e per farlo abbiamo dovuto studiare un diverso ordine di testimonianze offerte dal dna. Qui entra in scena Eva Africana.

[p. 52] Eva Africana viene da taluni chiamata Eva Mitocondriale. I mitocondri sono minuscoli corpi oblunghi presenti a migliaia in ciascuna delle nostre cellule. Essi sono sostanzialmente cavi, ma hanno una complessa struttura interna di sottili membrane. La superficie delle membrane è molto più estesa di quanto si possa immaginare considerando l'aspetto esterno dei mitocondri, e ha una funzione specifica. Le membrane sono paragonabili alla linea di produzione di un'industria chimica, o, più precisamente, di una

centrale elettrica. Una reazione a catena accuratamente controllata si svolge attraverso le membrane passando per un numero di stadi

superiore a quello di qualsiasi processo chimico inventato dall'uomo. Il risultato è che l'energia recuperata dalle molecole di cibo viene rilasciata in fasi predeterminate e viene immagazzinata in una forma che la rende pronta per essere utilizzata in seguito, in qualunque momento occorra e in qualunque parte del corpo. Senza i mitocondri moriremmo in un secondo.

Questa è la loro funzione, ma ciò che a noi interessa realmente sapere è da dove vengono. In origine, nella più antica epoca evolutiva, furono batteri. Questa è la notevole teoria per cui la straordinaria Lynn Margulis dell'Università del Massachusetts ad Amherst si è sempre battuta, portandola avanti dalle difficoltà, incomprensioni e gelosie iniziali agli odierni trionfi di un'accettazione che ormai appare quasi universale. Due miliardi di anni fa i remoti progenitori dei mitocondri erano batteri che se ne andavano in giro liberamente. Insieme con altri batteri di diverso tipo, essi si stabilirono all'interno di cellule più grandi. La comunità che ne era inizialmente risultata - quella dei batteri «procarioti» - si trasformò in ciò che oggi definiamo le grandi cellule «eucariote». Ciascuno di noi è una comunità di centinaia di milioni di milioni di cellule eucariote reciprocamente dipendenti. Ciascuna di esse è a sua volta una comunità di migliaia di batteri addomesticati per una funzione specifica e interamente racchiusi all'interno della cellula, dove si moltiplicano alla maniera dei batteri. E' stato calcolato che se tutti i mitocondri di un singolo corpo umano venissero messi in fila, circonderebbero la terra non una ma duemila volte. Un singolo animale [p. 53] o una singola pianta sono una vasta comunità di comunità contenute in strati interagenti, qualcosa di paragonabile alla foresta pluviale. Quanto alla foresta pluviale stessa, è una comunità che dà vita a forse dieci milioni di specie di organismi, e ciascun singolo membro di ciascuna specie è

esso stesso una comunità di comunità di batteri addomesticati. La teoria delle origini di Lynn Margulis - secondo cui la cellula ospita una comunità di batteri - è non solo incomparabilmente più poetica, più eccitante e più incoraggiante della storia del Giardino dell'Eden, ma ha anche il vantaggio di essere quasi certamente vera.

Al pari della maggior parte dei biologi, ora io presumo che la teoria di Margulis sia corretta, e in questo capitolo la menziono solo per una sua particolare implicazione: i mitocondri contengono dna proprio che, come in altri batteri, è limitato a un singolo cromosoma circolare. E ora applichiamoci allo scopo di questa lunga premessa. Il dna mitocondriale non partecipa ad alcun rimescolamento sessuale, né con il dna «nucleare» (il principale) né con il dna di altri mitocondri. I mitocondri, al pari di molti batteri, si

riproducono per semplice scissione. Ogniqualvolta un mitocondrio si suddivide in due, ciascuno dei due eredita una copia identica - mutazioni inattese a parte - del cromosoma originario. Vedete dunque la bellezza di questo processo, almeno dal nostro punto di vista di studiosi di remote genealogie. Abbiamo riscontrato che per quanto concerne i testi contenuti nel dna, in ciascuna generazione il sesso rimescola le testimonianze confondendo i rispettivi contributi della linea paterna e materna. Ma per fortuna il dna mitocondriale conserva il celibato.

Noi riceviamo i mitocondri solo da nostra madre. Gli spermatozoi sono troppo piccoli per contenerne più di una minima quantità, appena sufficiente a produrre l'energia necessaria agli spermatozoi per agitare la loro lunga coda nella corsa verso la cellula uovo. All'atto della fecondazione, quando la testa dello spermatozoo è

penetrata nell'uovo, i mitocondri paterni vengono eliminati insieme con la coda. La cellula uovo, al loro confronto, è immensa e consistente, ed è interamente riempita da un fluido contenente una ricca coltura di [p. 54] mitocondri. E' in questa coltura che il corpo del bambino inizia il suo sviluppo. Di conseguenza, che voi siate maschio o femmina, i vostri mitocondri discendono tutti dall'apporto iniziale dei mitocondri di vostra madre, e prima di lei da quelli della vostra nonna materna. Nessuno vi proviene da vostro padre, e nessuno da vostro nonno, e nessuno dalla vostra nonna paterna. I mitocondri costituiscono una documentazione del passato del tutto indipendente, non contaminata dal dna nucleare, che invece ha le stesse probabilità di provenire da ciascuno dei vostri quattro nonni, da ciascuno dei vostri otto bisnonni e così via.

Il dna mitocondriale è incontaminato, ma non è immune dalle mutazioni, cioè dagli errori casuali di copiatura. Anzi, esso muta con un ritmo più sostenuto del «nostro» dna, perché (come avviene in tutti i batteri) non possiede il sofisticato macchinario per la correzione delle bozze che le nostre cellule hanno evoluto in un lunghissimo arco di tempo. Vi saranno alcune differenze fra il vostro dna mitocondriale e il mio, e il numero delle differenze sarà una misura di quanto lontana sia la separazione dei nostri progenitori. Non tutti i nostri progenitori, ma solo quelli in linea femminile, di madre in madre. Se per caso vostra madre è un'aborigena australiana purosangue, o una cinese purosangue, o una purosangue del gruppo !Kung dei San del Kalahari, vi saranno parecchie differenze fra il vostro dna mitocondriale e il mio. Non importa chi sia vostro padre: per quanto concerne i vostri mitocondri può essere un aristocratico inglese o un capo Sioux. E lo stesso vale, e vale sempre, per tutti i vostri progenitori di sesso maschile.

E così abbiamo scoperto l'esistenza degli Apocrifi mitocondriali,

passati di generazione in generazione insieme con la Bibbia di

[PAGINA 36]

famiglia ma con la grande virtù di seguire solo ed esclusivamente la linea femminile. Il mio non è sessismo, poiché sarebbe ugualmente vantaggioso se i mitocondri seguissero solo ed esclusivamente la linea maschile. La loro virtù risiede nella loro integrità, poiché essi non subiscono suddivisioni e rimescolamenti a ogni generazione. Il passaggio attraverso uno dei due sessi, ma non attraverso entrambi, è proprio ciò di cui avevamo bisogno per ricostruire gli alberi genealogici [p. 55] utilizzando il dna. Il cromosoma Y, che, al pari del cognome, viene passato di generazione in generazione unicamente lungo la linea maschile, in teoria andrebbe altrettanto bene, ma contiene troppo poche informazioni per essere utile. Gli Apocrifi mitocondriali sono l'ideale per datare i progenitori comuni nell'ambito di una specie.

Il dna mitocondriale è stato utilizzato da un gruppo di ricercatori associati con il defunto Allan Wilson di Berkeley, in California. Negli anni Ottanta Wilson e i suoi collaboratori eseguirono un campionamento delle sequenze provenienti da 135 donne di tutto il mondo: aborigene australiane, abitanti delle aree montuose della Nuova Guinea, native americane, europee, cinesi e rappresentanti di varie popolazioni africane. Essi contarono le differenze nelle lettere che separavano ciascuna donna da ogni altra. Poi immisero i dati in un computer e costruirono il più «parsimonioso» albero genealogico che si potesse ricavare. La parsimonia, in questo caso, consiste nel risparmiarsi, per quanto possibile, la necessità di postulare delle coincidenze. Ma qui occorre qualche spiegazione.

Torniamo alle nostre considerazioni sul cavallo, il maiale e i

lieviti, e alle analisi delle sequenze di lettere del citocromo c. Ricorderete che il cavallo differisce dal maiale per sole tre lettere, e che il maiale differisce dai lieviti per quarantacinque lettere, e che il cavallo differisce dai lieviti per quarantasei lettere. In teoria, avevamo detto, poiché il cavallo e il maiale sono reciprocamente connessi da un progenitore comune relativamente recente, dovrebbero trovarsi esattamente alla stessa distanza dai lieviti. La differenza fra quarantacinque e quarantasei è un'anomalia, qualcosa che in un mondo ideale non dovrebbe esistere. Potrebbe essere dovuta a una mutazione addizionale sulla linea evolutiva del cavallo o a una retromutazione sulla linea del maiale.

Ora, per quanto assurda quest'idea sia in realtà, è teoricamente concepibile che il maiale sia davvero più prossimo ai lieviti di quanto lo sia il cavallo. E' teoricamente possibile che il maiale e il cavallo abbiano evoluto la loro stretta rassomiglianza reciproca (in termini di citocromo c i loro testi differiscono di sole tre lettere, e i loro corpi sono fondamentalmente [p. 56] costruiti secondo un modello quasi identico, tipico dei mammiferi) in seguito all'accumularsi di coincidenze. La ragione per cui noi non crediamo a

[PAGINA 37]

queste coincidenze è che le somiglianze tra il maiale e il cavallo superano di gran lunga le somiglianze tra il maiale e i lieviti. Certamente c'è una singola lettera del dna in cui il maiale appare più prossimo ai lieviti che al cavallo, ma a questa si contrappongono i milioni di somiglianze in senso contrario. E qui subentra la questione della parsimonia. Se presumiamo che il maiale sia prossimo al cavallo, dobbiamo trovar posto nell'albero per una sola rassomiglianza dovuta alla coincidenza. Ma se volessimo affermare che

il maiale è prossimo ai lieviti, dovremmo postulare una concatenazione prodigiosamente non realistica di rassomiglianze acquisite indipendentemente, dovute a coincidenze.

Nel caso del cavallo, del maiale e dei lieviti, la validità del principio di parsimonia è troppo evidente per essere messa in dubbio. Ma nel dna mitocondriale di differenti razze umane non vi è nulla di evidente riguardo alle rassomiglianze. Il principio di parsimonia continua a essere valido, ma i suoi argomenti sono sottili e quantitativi, non poderosi e definitivi. Vediamo che cosa il computer, in teoria, deve fare. Innanzitutto deve comporre una lista di tutti i possibili alberi genealogici che mettono in relazione le 135 donne. Poi li esamina e seleziona quello ispirato alla maggior parsimonia, cioè quello che minimizza il numero delle somiglianze per coincidenza. Dobbiamo accettare il fatto che, con tutta probabilità, persino l'albero migliore ci costringerà ad ammettere alcune piccole coincidenze, nello stesso modo in cui eravamo stati costretti ad accettare il fatto che, per la differenza di una lettera nel dna, i lieviti sono più prossimi al maiale che al cavallo. Ma, almeno in teoria, il computer dovrebbe essere in grado di superare facilmente questo problema e indicarci quale dei numerosi possibili alberi è quello maggiormente ispirato alla parsimonia, cioè quale albero è meno condizionato dalle coincidenze.

Tutto ciò in teoria. In pratica si presenta una difficoltà. Il numero di possibili alberi è maggiore di quanto voi, o io, o qualsiasi matematico, possiamo immaginare. Per il cavallo, il [p. 57] maiale e i lieviti vi sono solo tre possibili alberi. Quello palesemente corretto è [[maiale cavallo] lieviti], con il maiale e il cavallo racchiusi insieme nelle parentesi interne e i lieviti come gruppo «esterno» non imparentato. Gli altri due alberi teorici sono [[maiale lieviti] cavallo] e [[cavallo lieviti] maiale]. Se

aggiungiamo un terzo taxon - diciamo lo scoiattolo - il numero degli alberi sale a dodici. Non li menzionerò tutti, ma quello valido (cioè maggiormente ispirato al principio della parsimonia) è [[[maiale cavallo] scoiattolo] lieviti]. Ancora una volta maiale e cavallo, in quanto strettamente imparentati, sono racchiusi insieme nelle parentesi più interne. Lo scoiattolo, che rispetto ai lieviti condivide un progenitore più recente con la linea evolutiva

maialeìcavallo, viene subito dopo. Ciascuno degli undici altri alberi - per esempio, [[maiale scoiattolo] [cavallo lieviti]] - è decisamente meno «parsimonioso». Se il maiale fosse realmente un più prossimo cugino dello scoiattolo e il cavallo fosse realmente un più prossimo cugino dei lieviti, sarebbe fortemente improbabile che il maiale e il cavallo avessero potuto evolvere indipendentemente le loro numerose rassomiglianze.

Se tre taxa danno origine a tre possibili alberi, e quattro danno origine a dodici possibili alberi, quanti possibili alberi potrebbero essere costruiti prendendo in considerazione 135 donne? La risposta è un numero così alto da non valere la pena di scriverlo. Se il più potente e più veloce computer di cui disponiamo venisse impiegato per elencare tutti gli alberi possibili in questo caso, entro la fine del mondo sarebbe riuscito a compiere appena una minima parte del lavoro.

Tuttavia non dobbiamo disperare di risolvere il problema. I numeri così grandi da essere praticamente impossibili possono essere resi più maneggevoli con l'impiego di razionali tecniche di campionamento. Non possiamo contare tutti gli insetti che popolano la foresta amazzonica, ma possiamo calcolarne una stima campionando aree

ristrette selezionate a caso e assumendo che siano rappresentative. Il nostro computer non può esaminare tutti gli alberi che potrebbero connettere le 135 donne, ma può estrarre un campione casuale dalla serie di tutti gli alberi possibili. Se ogni volta che preleviamo un campione dai gigamiliardi di possibili alberi osserviamo [p. 58] che i più parsimoniosi hanno determinate caratteristiche comuni, possiamo concludere che probabilmente i più parsimoniosi di tutti gli alberi hanno le stesse caratteristiche.

Questo è quanto è stato fatto. Ma non è scontato che sia il migliore dei metodi. Così come gli entomologi potrebbero non concordare su quale tipo di campionamento della foresta amazzonica sia il più rappresentativo, i costruttori di alberi genealogici basati sul dna si sono avvalsi di metodi di campionamento diversi. E sfortunatamente i risultati non sempre hanno concordato. Tuttavia, per quello che valgono, presenterò le interessanti e provocatorie conclusioni raggiunte dal gruppo di Berkeley nella sua originaria analisi del dna mitocondriale umano. Secondo loro, l'albero più parsimonioso ha solide radici in Africa. Ciò significa che alcuni africani sono imparentati più lontanamente con altri africani che con ogni altra popolazione. Tutto il resto del mondo - europei, nativi americani, aborigeni australiani, cinesi, nativi della Nuova Guinea, inuit e così via - formano un gruppo di cugini relativamente prossimi. Alcuni africani appartengono a questo gruppo ma altri no. Secondo l'analisi degli studiosi di Berkeley, l'albero più parsimonioso appare così organizzato: [alcune popolazioni africane

[altre popolazioni africane [ancora altre popolazioni africane [ancora altre popolazioni africane e il resto del mondo]]]]. Essi

hanno dunque concluso che la grande progenitrice di tutti noi visse in Africa: «Eva Africana». Come ho detto, questa conclusione è controversa. Altri hanno affermato l'esistenza di alberi diversi ma ugualmente parsimoniosi le cui ramificazioni più lontane si estendono fuori dell'Africa. Essi affermano inoltre che i risultati ottenuti dal gruppo di Berkeley erano in parte influenzati dall'ordine con cui il loro computer aveva intrapreso la ricerca dei possibili alberi. Questo fattore, ovviamente, non dovrebbe incidere. E' probabile che la maggioranza degli esperti sarebbe pronta a scommettere sull'origine africana di Eva Mitocondriale, ma non lo farebbe con la massima fiducia.

La seconda conclusione raggiunta dal gruppo di Berkeley è meno controversa. Indipendentemente da dove visse Eva [p. 59] Mitocondriale, il gruppo fu in grado di elaborare una stima cronologica. La velocità di evoluzione del dna mitocondriale è nota, e quindi è possibile datare approssimativamente ciascuna divergenza dell'albero evolutivo. Tutte le ramificazioni che uniscono il genere femminile - la data di nascita di Eva Mitocondriale - si situano fra centocinquantamila e duecentocinquantamila anni or sono.

Che Eva Mitocondriale sia africana oppure no, è importante evitare una possibile confusione con un altro senso in cui è indubbiamente vero che i nostri progenitori provengono dall'Africa. Eva Mitocondriale è un recente progenitore di tutti gli uomini attuali ed appartenne alla specie Homo sapiens. Sia in Africa sia fuori dell'Africa sono stati scoperti i resti fossili di Homo erectus, un ominide molto più antico, ma i fossili di progenitori ancora più remoti di Homo erectus, come Homo habilis e varie specie di Australopithecus (compresa una specie recentemente scoperta datata a più di quattro milioni di anni or sono), sono stati trovati solo in Africa. Dunque, se noi siamo i discendenti di una diaspora africana

avvenuta nell'ultimo quarto di milione di anni, allora questa è una seconda diaspora. Ve ne fu una precedente, forse un milione e mezzo di anni or sono, quando Homo erectus si diffuse dall'Africa per colonizzare aree mediorientali e asiatiche. La teoria dell'Eva Africana non nega l'esistenza di queste antiche popolazioni asiatiche, ma afferma che esse non hanno discendenti attuali. In qualsiasi modo si consideri il problema, tutti noi, se risaliamo di due milioni di anni, siamo africani. Un corollario della teoria dell'Eva Africana è che noi uomini attuali risultiamo tutti africani risalendo anche soltanto di poche centinaia di migliaia di anni. Sarebbe possibile, se nuove testimonianze lo confermassero, far risalire tutti i dna mitocondriali attuali a una progenitrice extra-africana (per esempio un'«Eva Asiatica») e al contempo

concordare unanimemente sul fatto che i nostri progenitori più remoti devono essere cercati unicamente in Africa.

Presumiamo, per il momento, che il gruppo di Berkeley abbia ragione ed esaminiamo il significato delle loro conclusioni. Chiamare questa nostra progenitrice «Eva» ha avuto conseguenze negative. Alcuni ne hanno tratto la conclusione [p. 60] che Eva fosse stata una donna solitaria, l'unica donna sulla terra, una strettoia genetica, o addirittura una conferma della Genesi! E' un fraintendimento totale. L'affermazione corretta non è che ella sia stata la sola donna sulla terra, e non è nemmeno che in quell'epoca la popolazione fosse relativamente poco numerosa. I suoi compagni, di entrambi i sessi, possono essere stati sia numerosi che fecondi, e potrebbero avere ancora numerosi discendenti vivi ai nostri giorni. Ma tutti i discendenti dei loro mitocondri sono scomparsi perché il loro legame

con noi passa, a un certo punto, attraverso un maschio. Nello stesso modo può estinguersi un cognome nobile (i cognomi sono legati ai cromosomi Y e vengono trasmessi solo lungo la linea maschile in modo esattamente speculare rispetto ai mitocondri), ma ciò non significa che i possessori di quel cognome non abbiano lasciato discendenti. Essi possono avere numerosi discendenti attraverso vie diverse da quella unicamente maschile. L'affermazione corretta è semplicemente che Eva Mitocondriale è la donna cronologicamente più vicina a noi di cui si possa affermare che tutti gli uomini attuali sono discendenti in linea femminile. Deve essere esistita una donna con queste caratteristiche. L'unico punto in questione è se sia vissuta in un luogo o in un altro, in una certa epoca o in un'altra. Il fatto che sia vissuta, in un luogo e in un tempo, è certo.

E qui incappiamo in un secondo fraintendimento, più diffuso, che ho udito formulare persino da specialisti di fama, consistente nella convinzione che Eva Mitocondriale sia il nostro più recente progenitore comune. Il malinteso si basa sulla confusione fra il concetto del «nostro più recente progenitore comune» e il concetto del «nostro più recente progenitore comune in linea femminile.» Eva Mitocondriale è appunto questo, ma vi sono molti altri modi con cui si può discendere da qualcuno diversamente dalla linea femminile. Milioni di altri modi. Torniamo ai nostri calcoli del numero dei progenitori (dimenticando la complicazione del matrimonio fra cugini, che prima era il punto in discussione). Ciascuno di noi ha otto bisnonni, ma solo uno di essi lo è in linea puramente femminile. Abbiamo anche sedici trisnonni, ma solo uno di essi lo è in linea puramente femminile. Pur [p. 61] ammettendo che il matrimonio fra cugini riduca il numero dei progenitori in una data generazione, è vero che vi sono molti, ma molti più modi per essere progenitore che non l'esserlo in linea esclusivamente femminile. Seguendo il nostro

fiume genico fino alla più remota antichità incontreremmo

[PAGINA 41]
probabilmente molte Eve e molti Adami, vale a dire molti individui di importanza cruciale di cui è possibile affermare che sono gli antenati di tutta l'umanità vivente nel 1995. Eva Mitocondriale è solo uno di questi antenati, e non abbiamo alcuna ragione di ritenere che fra tutte le Eve e tutti gli Adami sia la più recente. Casomai è il contrario. Eva Mitocondriale è definita in un particolare modo: noi discendiamo da lei attraverso un particolare percorso del fiume genico. Il numero di possibili percorsi paralleli a quello in linea esclusivamente femminile è così alto da rendere matematicamente improbabile che Eva Mitocondriale sia la più recente di tutte queste numerose Eve e dei diversi Adami. Si tratta di una via particolare sotto un unico aspetto, quello di essere esclusivamente femminile.

Un altro motivo di moderato interesse è che il nostro più recente progenitore comune ha, in qualche modo, maggiori probabilità di essere un Adamo che non una Eva. Gli harem di femmine sono senz'altro più frequenti degli harem di maschi, se non altro perché i maschi sono fisicamente in grado di mettere al mondo centinaia, o addirittura migliaia, di figli. Secondo il Guinness dei primati il record spetta a Mulay Ismail il Sanguinario, che ne ebbe più di mille. (Incidentalmente, Mulay Ismail potrebbe benissimo essere adottato dalle femministe come personaggio rappresentativo del più sgradevole machismo. Si narra che il suo metodo di montare a cavallo fosse quello di sguainare la spada e subito balzare in sella, ottenendo simultaneamente una partenza immediata e la decapitazione dello schiavo che teneva le briglie. Per quanto improbabile, questa leggenda, per il solo fatto di essere stata tramandata, e unita alla

sua reputazione di avere ucciso di propria mano ben diecimila uomini, ci dà un'idea delle qualità che venivano ammirate negli uomini del suo stampo.) Una donna, anche a condizioni ideali, non può avere più di una ventina di figli, ed ha maggiori probabilità di un maschio [p. 62] di avere un numero di figli pari alla media. Alcuni maschi possono avere una quota di figli vergognosamente alta, e ciò significa che altri maschi devono non averne avuto nessuno. Se qualcuno non si riproduce affatto, è più probabile che questi sia un maschio. E se qualcuno si garantisce una posterità sproporzionata, è altrettanto probabile che anche in questo caso si tratti di un maschio. Tutto ciò ha attinenza con la questione del più recente progenitore comune di tutta l'umanità, che è molto più probabilmente Adamo, e non Eva. Per fare un esempio estremo, chi ha maggior probabilità di essere il progenitore di tutti i marocchini attuali, Mulay Ismail il Sanguinario o una donna qualsiasi del suo infelice harem?

Possiamo quindi giungere alle seguenti conclusioni: innanzitutto è necessariamente certo che esisté una donna, cui possiamo dare il nome di Eva Mitocondriale, che è il più recente progenitore comune, in linea femminile, di tutta l'umanità attuale. Inoltre è certo che

esisté una persona, non sappiamo se maschio o femmina, che potremmo chiamare Progenitore Critico e che è il più recente progenitore comune, lungo entrambe le linee, di tutta l'umanità attuale. Terzo, quantunque sia possibile che Eva Mitocondriale e il Progenitore Critico si identifichino nella stessa persona, è altamente improbabile che sia davvero così. Quarto, è un po' più probabile che il Progenitore Critico sia un maschio. Quinto, molto probabilmente Eva Mitocondriale visse meno di un quarto di milione di anni or sono.

Sesto, vi è disaccordo sul luogo in cui Eva Mitocondriale visse, ma mediamente gli studiosi continuano a propendere per l'Africa. Solo le conclusioni quinta e sesta dipendono dalla conferma delle testimonianze scientifiche. Le prime quattro sono facilmente ottenibili per via teorica mettendo a frutto alcune nozioni correnti.

Ma io avevo anche affermato che i progenitori sono i depositari della chiave di comprensione della vita. La storia dell'Eva Africana non è che un limitato aspetto di una vicenda epica infinitamente più grandiosa e incomparabilmente più antica. Dovremo ricorrer nuovamente alla metafora del fiume genico, il nostro fiume che usciva dall'Eden. Ma lo risaliremo [p. 63] attraverso una scala cronologica incommensurabilmente maggiore delle migliaia di anni dell'Eva Biblica e delle centinaia di migliaia di anni dell'Eva Africana. Il fiume del dna ha continuato a fluire attraverso i nostri progenitori in una linea evolutiva ininterrotta che si estende per non meno di tremila milioni di anni.

NOTE:

(*) Non è la prima volta che mi avvalgo di questa argomentazione così drastica e devo sottolineare che essa è unicamente indirizzata a coloro che la pensano come il mio collega della zucca. Vi sono anche altri che, creando una certa confusione, si definiscono relativisti culturali, sebbene le loro opinioni siano del tutto diverse e perfettamente sensate. Per essi, il relativismo culturale significa soltanto che non si può comprendere una cultura tentando di interpretarne le credenze nei termini della propria. Bisogna invece considerare ciascuna credenza nel contesto delle altre credenze della stessa cultura. Io sospetto che questa forma sensata di relativismo culturale sia quella originaria, e che quella che ho criticato sia

una sua corruzione estremistica, anche se diffusa in modo preoccupante. I relativisti di buon senso dovrebbero darsi da fare per prendere le distanze da un atteggiamento così fatuo.

(**) «The Spectator», Londra, 6 agosto 1994.

[p. 65] 3.

Far bene senza farsi notare

Il creazionismo esercita un'attrattiva duratura, e non è difficile individuarne la ragione. Non si tratta, almeno per la maggior parte delle persone che incontro, dell'ossequio verso la verità letterale della Genesi o di qualche altra storia tradizionale delle origini. Il fatto è che la gente scopre la bellezza e la complessità del mondo vivente e conclude che «evidentemente» esso è stato progettato da qualcuno. I creazionisti che riconoscono nell'evoluzione darwiniana una sorta di alternativa alla loro teoria biblica ricorrono spesso a

un'obiezione più sottile, negando la possibilità di stadi evolutivi intermedi. «X deve essere stato concepito da un Creatore», dice la gente, «perché metà di X non funzionerebbe affatto. Tutte le parti di X devono essere state riunite simultaneamente, e non possono essersi evolute con gradualità.» Il giorno in cui iniziai questo capitolo,

per esempio, ricevetti una lettera da un sacerdote americano che in passato era stato ateo ma si era convertito leggendo un articolo comparso su «National Geographic». Ecco un estratto della lettera:

«L'articolo riguardava i sorprendenti adattamenti al proprio ambiente compiuti dalle orchidee allo scopo di moltiplicarsi con successo. Mentre leggevo mi sentivo particolarmente affascinato dalla strategia riproduttiva di una specie, che presupponeva la cooperazione di un individuo maschile di vespa. Apparentemente il fiore somigliava molto alla femmina di vespa, compreso un orifizio situato in modo tale che la vespa maschio, copulando con il fiore, riuscisse a raggiungere il polline. Volando al fiore successivo la vespa [p. 66] maschio ripeteva l'operazione, e in questo modo realizzava l'impollinazione incrociata. Ciò che rendeva il fiore attraente per la vespa erano innanzitutto i feromoni [sostanze chimiche specifiche molto utilizzate dagli insetti per attrarre l'altro sesso] che emetteva, identici a quelli della vespa femmina. Studiai con un certo interesse l'illustrazione per circa un minuto. Poi, sentendomi terribilmente scosso, mi resi conto che quella strategia riproduttiva, per poter funzionare, doveva essere stata perfetta sin dalla prima volta. Non vi erano stadi graduali di sviluppo che potessero spiegarla, perché se l'orchidea non avesse avuto lo stesso aspetto e lo stesso odore della vespa femmina, e se non avesse avuto un orifizio adatto alla copulazione e se il polline non fosse stato perfettamente raggiungibile dall'organo riproduttore della vespa maschio, la strategia avrebbe fallito del tutto.

«Non dimenticherò mai la depressione in cui piombai, perché all'istante mi era apparso chiaro che un Dio di qualche genere doveva esistere per forza, e doveva avere un rapporto costante con i processi mediante i quali nasce ogni cosa. Che, in breve, il Dio creatore non era un mito antidiluviano, ma qualcosa di reale. E

seppure con grande riluttanza, mi resi conto immediatamente che dovevo sapere qualcosa di più su quel Dio.»

Altri, senza dubbio, si sono accostati alla religione attraverso vie diverse, ma di certo molte persone hanno avuto un'esperienza simile a quella che aveva cambiato la vita del sacerdote in questione (la cui identità, per buona creanza, non intendo rivelare). Essi hanno osservato una meraviglia della natura, oppure hanno letto qualcosa al riguardo e questo evento li ha riempiti di sgomento e ammirazione, fino a suscitare in loro un timore reverenziale. Più specificamente, come è accaduto al mio corrispondente, essi hanno

deciso che un particolare fenomeno naturale - una tela di ragno, l'occhio o l'ala dell'aquila, o altro - non può essersi evoluto gradualmente perché gli stadi intermedi, nei quali il fenomeno era realizzato solo per metà, non sarebbero serviti ad alcunché. Lo scopo del presente capitolo è dimostrare l'inesattezza dell'affermazione secondo cui i meccanismi complessi devono essere perfetti per poter funzionare. Incidentalmente, le orchidee erano uno degli esempi più amati da Charles Darwin, che scrisse un intero libro per dimostrare come il principio dell'evoluzione [p. 67] graduale per selezione naturale esca trionfante dal difficile compito di spiegare «I diversi apparecchi per mezzo dei quali le orchidee vengono fecondate dagli insetti».

La chiave interpretativa delle affermazioni del sacerdote che mi aveva scritto è da ricercare nell'asserzione che «quella strategia riproduttiva, per poter funzionare, doveva essere stata perfetta sin dalla prima volta. Non vi erano stadi graduali di sviluppo che potessero spiegarla». Lo stesso poteva essere sostenuto - e spesso lo

è stato - per l'evoluzione dell'occhio, e su questo argomento ritorneremo più avanti nel capitolo.

Ciò che mi lascia sempre impressionato ogniqualvolta odo questo tipo di ragionamento è la sicurezza con cui viene formulato. Mi sarebbe piaciuto poter chiedere al sacerdote come mai fosse così sicuro che l'orchidea imitatrice della vespa (o l'occhio, o qualsiasi altra struttura) non servisse a nulla a meno che ogni sua parte non fosse perfetta e funzionante. E in realtà vi siete mai soffermati, anche per meno di un secondo, su questo pensiero? In realtà, sapete ciò che di fondamentale c'è da sapere sulle orchidee, o sulle vespe o sugli occhi con cui le vespe maschio guardano le femmine e le orchidee? Che cosa vi rende così sicuri da affermare che le vespe sono molto difficili da ingannare, e di conseguenza, perché lo stratagemma dell'orchidea funzioni, la somiglianza deve essere perfetta in tutto e per tutto?

Ripensate all'ultima volta in cui siete stati ingannati da una somiglianza casuale. Forse vi siete tolti il cappello per salutare una perfetta sconosciuta incontrata per strada, scambiandola per un'amica. Gli attori hanno controfigure - maschi e femmine - che cadono da cavallo o si precipitano dalle scogliere al loro posto. La loro rassomiglianza con l'attore o l'attrice è solitamente molto superficiale, ma la rapidità dell'azione è sufficiente perché gli spettatori non colgano la sostituzione. I maschi del genere umano si eccitano alla vista delle immagini pubblicate da certe riviste. Ma un'immagine è solo inchiostro da stampa impresso sulla carta. Inoltre è bidimensionale, non tridimensionale, e per di più è alta solo pochi centimetri. E può essere nulla più di uno schizzo tracciato con poche linee, e non una rappresentazione a grandezza naturale.

Ciononostante, quell'immagine può suscitare [p. 68] un'erezione. Forse una rapida visione di una femmina è tutto quanto una vespa maschio in pieno volo può aspettarsi di cogliere prima di tentare di copulare con lei. Forse le vespe maschio, comunque sia, notano solo alcuni stimoli basilari.

Vi sono tutte le ragioni per ritenere che la vespa possa essere ingannata ancora più facilmente dell'uomo. Il pesce spinarello lo è certamente, e i pesci hanno un cervello più efficiente e occhi migliori di quelli delle vespe. Lo spinarello maschio ha il ventre rosso, e minaccia non solo gli altri maschi ma anche le imitazioni più approssimative in cui ravvisa un «ventre» rosso. Il mio vecchio maestro, il Premio Nobel Niko Tinbergen, raccontava la famosa storia di un furgone rosso della posta che era passato davanti alla finestra del suo laboratorio, e di come tutti gli spinarelli maschi si fossero precipitati verso il lato del loro acquario rivolto verso la finestra minacciandolo vigorosamente. Le femmine con le uova mature hanno un ventre fortemente arrotondato. Tinbergen scoprì che un'imitazione argentata e vagamente allungata, sebbene estremamente approssimativa e, dal punto di vista umano, per nulla somigliante a uno spinarello ma dotata di un «ventre» marcatamente arrotondato, evocava nei maschi il comportamento di accoppiamento. Più recenti studi condotti nella scuola di ricerche fondata da Tinbergen hanno dimostrato che una cosiddetta bomba sessuale - un oggetto a forma di pera, pieno e tondeggiante ma non allungato e neanche minimamente somigliante a un pesce, almeno secondo l'immaginazione umana - era efficacissima per suscitare la concupiscenza degli spinarelli maschi. La «bomba» è un esempio classico di stimolo supernormale, uno stimolo ancora più efficace di quelli reali. In un altro caso Tinbergen pubblicò la fotografia di una beccaccia di mare che tentava di covare un uovo

della grandezza di un uovo di struzzo. Gli uccelli hanno un cervello proporzionalmente più grande e una vista migliore dei pesci - e, a fortiori, delle vespe - tuttavia, a quanto sembra, le beccacce di mare «pensano» che un uovo grande come quello dello struzzo sia sommamente desiderabile per la cova.

I gabbiani, le oche e altri uccelli che nidificano a terra hanno una risposta stereotipata per l'uovo rotolato fuori dal nido: si sporgono e lo riportano all'interno facendolo rotolare [p. 69] con la superficie inferiore del becco. Tinbergen e i suoi studenti hanno dimostrato che il gabbiano non tiene questo comportamento solo con le proprie uova ma lo fa anche con uova di gallina e addirittura con cilindri di legno e con lattine abbandonate dai campeggiatori. I piccoli del gabbiano glauco ottengono il cibo chiedendolo ai genitori: colpendo la macchia rossa sul loro becco stimolano il genitore a rigurgitare un po' del pesce che ha catturato in abbondanza. Tinbergen e un collaboratore hanno dimostrato che

immagini molto approssimative della testa del genitore, realizzate con cartone grezzo, sono più che sufficienti a suscitare il comportamento di richiesta nel piccolo. L'unico elemento essenziale è la macchia rossa. Per quanto concerne il piccolo gabbiano, il suo genitore è sintetizzato in una macchia rossa. Può darsi benissimo che sia in grado di vederne l'intero corpo, ma questo fatto non sembra avere alcuna importanza.

Questa visione apparentemente restrittiva non è limitata ai piccoli. Nel gabbiano comune, gli adulti sono notevoli per la maschera scura di penne nere che ricopre loro il capo. Robert Mash, un allievo di Tinbergen, ha voluto chiarire l'importanza di questa

maschera per gli altri individui adulti preparando alcune riproduzioni in legno di teste di gabbiano. Ciascuna era fissata all'estremità di un bastone collegato con un motore elettrico sistemato all'interno di una scatola, per cui Mash, con un telecomando, poteva fare alzare e abbassare la testa, oppure girarla a sinistra e a destra. Egli seppellì la scatola in prossimità di un nido di gabbiani e la lasciò lì accertandosi che la testa fosse ben coperta dalla sabbia e fuori di vista. Poi, per diversi giorni, si celò dietro un nascondiglio accanto al nido per osservare la reazione dei suoi abitanti alla finta testa che si alzava e si girava da entrambi i lati. Gli uccelli rispondevano ai movimenti come se si fosse trattato di un gabbiano vero, sebbene fosse solo una vaga imitazione in cima a un bastone sottile e sebbene il resto del corpo - gambe, ali e coda - fosse del tutto assente, incapace di emettere suoni e praticamente inerte se non per pochi movimenti robotici del tutto innaturali. Per il gabbiano comune, a quanto sembra, un vicino minaccioso è poco più di una testa scura priva del resto del corpo, ali comprese, che non appare affatto necessario.

[p. 70] Per raggiungere il suo osservatorio, Mash - come avevano già fatto generazioni di ornitologi prima di lui e come ancora faranno - sfruttò una ben nota limitazione del sistema nervoso degli uccelli: il fatto che essi non sono dei matematici naturali. Due persone vanno al nascondiglio, ma solo una ne esce. Senza questo trucco gli uccelli sarebbero diffidenti, «sapendo» che nel nascondiglio c'è qualcuno. Ma se vedono che ne esce una persona, essi «presumono» che entrambe siano andate via. Se un uccello non fa distinzione fra una e due persone, è così sorprendente che una vespa maschio si lasci ingannare da un'orchidea somigliante in modo meno che perfetto a una vespa femmina?

E ora vi racconterò un'altra storia a questo proposito, una storia

tragica. Nel tacchino, le madri difendono fieramente i piccoli, che devono proteggere da predatori di nidi come la donnola o il ratto necroforo. La regola pratica che mamma tacchino utilizza per riconoscere i razziatori di nidi è così drastica da lasciare

sgomenti: nelle vicinanze del nido attacca qualsiasi cosa si muova a meno che non emetta il richiamo del piccolo. Questo comportamento fu osservato per la prima volta dallo zoologo austriaco Wolfgang Schleidt, a cui accadde di osservare una madre tacchino che uccideva selvaggiamente tutta la covata. Il motivo risultò tristemente semplice: la madre era sorda. I predatori, per quanto riguarda il sistema nervoso del tacchino, sono oggetti in movimento che non emettono il richiamo della sua prole. I piccoli, quantunque avessero l'aspetto di piccoli di tacchino, si muovessero come piccoli di tacchino e corressero fiduciosamente incontro alla loro madre come tutti i piccoli di tacchino, erano rimasti vittime della limitata definizione di «predatore» di cui la madre era capace. Essa aveva attivato il comportamento di protezione dei piccoli contro loro stessi, e li aveva massacrati tutti.

Quanto agli insetti, posso raccontarvi un'altra tragica storia parallela, legata al fatto che le cellule sensoriali delle antenne dell'ape domestica sono sensibili a un unico composto chimico, l'acido oleico. (L'ape possiede anche altre cellule sensibili ad altri composti chimici.) L'acido oleico viene liberato dai corpi in decomposizione delle api morte e innesca il «comportamento necroforico», consistente nella rimozione dei resti [p. 71] dall'alveare. Se si spennella un'ape con una piccola quantità di acido oleico la poveretta viene trascinata via, nonostante che scalci

e lotti fieramente dimostrando di essere ben viva, e viene espulsa dall'alveare insieme con le compagne morte.

Il cervello degli insetti è molto più piccolo di quello del tacchino, e ancor più di quello dell'uomo. Gli occhi degli insetti - anche i grandi occhi composti delle libellule - possiedono una minima parte dell'acuità degli occhi nostri o degli uccelli. A parte ciò, è noto che gli insetti vedono il mondo in modo completamente diverso dal nostro. Da giovane, il grande zoologo austriaco Karl von Frisch scoprì che essi sono ciechi alla luce rossa ma possono vedere - cioè identificare come tonalità di colore ben distinta - la luce ultravioletta, a cui noi siamo ciechi. Gli occhi degli insetti sono molto sensibili allo «sfarfallamento» che a un insetto in rapido movimento appare come un parziale sostituto di quella che noi chiamiamo «forma». Sono state osservate farfalle maschio nell'atto di «corteggiare» foglie morte ancora sull'albero e agitate dal vento. Nella nostra percezione, d'altronde, una farfalla femmina è una coppia di grandi ali battute dall'alto verso il basso. Un maschio in volo la vede, e la corteggia, in quanto rapida concentrazione di «sfarfallamenti». Ciò rende possibile ingannarlo con una lampada stroboscopica, che non si muove ma lampeggia a intermittenza. Se il ricercatore riesce a riprodurre l'esatta cadenza, la farfalla maschio reagirà come se si trattasse di un'altra farfalla che batte le ali a

quella cadenza. Le strisce, per noi, sono un disegno ripetitivo statico, ma a un insetto che le veda di passaggio esse appaiono come «sfarfallamenti» e possono essere imitate, anche in questo caso, con una lampada stroboscopica predisposta sull'intermittenza corretta. Il mondo visto attraverso gli occhi di un insetto ci è così estraneo che

formulare affermazioni basate sulla nostra esperienza nel discutere quanto «perfettamente» un'orchidea debba imitare il corpo di una vespa femmina è pura e semplice presunzione umana.

Le vespe stesse sono state l'oggetto di un esperimento classico, originariamente condotto dal grande naturalista francese Jean-Henri Fabre e in seguito ripetuto da vari altri sperimentatori, compresi alcuni membri della scuola di Tinbergen. [p. 72] La vespa scavatrice femmina torna al proprio nido sotterraneo trasportando la preda trafitta e paralizzata. Giunta a destinazione la deposita all'esterno prima di entrare, apparentemente per controllare che tutto sia a posto prima di ricomparire e trascinare la preda all'interno. Mentre la vespa è nella sua buca, il ricercatore allontana la preda di qualche centimetro rispetto al punto in cui era stata lasciata. Quando essa riemerge, constata l'assenza della preda e si affretta a ritrovarla. Dopo di che la trascina di nuovo all'entrata della buca. Solo qualche secondo è trascorso da quando ne ha ispezionato l'interno, e, dal nostro punto di vista, non vi è alcuna buona ragione perché la vespa non passi al prossimo stadio del suo comportamento routinario, quello del trascinamento della preda all'interno. Ma il suo programma è stato riavviato a partire da uno stadio precedente. La vespa lascia doverosamente la preda fuori della buca e vi si introduce per compiere un'altra ispezione. Lo sperimentatore può ripetere la farsa anche quaranta volte, fino a non poterne più. La vespa, dal canto suo, si comporta come una lavatrice il cui programma è stato interrotto e portato indietro, e che non è «consapevole» di avere già lavato la stessa biancheria quaranta volte di seguito. Il noto informatico Douglas Hofstadter ha coniato un nuovo aggettivo, sphexish [«da sfecide»] per indicare questi rigidi automatismi indiscriminati. (Sphex è il nome di un genere rappresentativo di vespe scavatrici). Almeno sotto alcuni aspetti,

dunque, non è difficile ingannare una vespa. Si tratta di un tipo di stratagemma molto differente rispetto a quello messo in atto dall'orchidea. Ad ogni modo, dobbiamo guardarci dall'applicare l'intuizione umana per affermare che «quella strategia riproduttiva, per poter funzionare, doveva essere stata perfetta sin dalla prima volta».

Nel persuadervi che le vespe sono facili da ingannare potrei avere svolto il mio compito con troppo zelo. A questo punto voi starete forse nutrendo un sospetto pressoché opposto rispetto a quello che aveva colpito il sacerdote mio corrispondente. Se la vista di un

[PAGINA 50]

insetto è tanto mediocre, e se è così facile ingannare una vespa maschio, perché l'orchidea deve preoccuparsi di produrre un fiore tanto simile alla vespa femmina? Ebbene, la vista di una vespa non sempre è così [p. 73] mediocre. Vi sono situazioni in cui questi animali sembrano vedere molto bene, per esempio quando, di ritorno da un lungo volo di caccia, avvistano il proprio nido sotterraneo. Tinbergen indagò in questo comportamento studiando Philanthus, una vespa scavatrice nemica dell'ape domestica. Egli attendeva che un esemplare fosse penetrato nel nido, e prima che riemergesse si affrettava a collocare alcuni «punti di riferimento» - un rametto e una pigna, ad esempio - intorno all'entrata. Poi si ritirava e attendeva che la vespa volasse via di nuovo. Appena uscita, la vespa compiva due o tre giri intorno alla buca come per fotografare mentalmente l'area, dopo di che si metteva in cerca di una preda. Quando la vespa era lontana Tinbergen spostava di circa un metro il rametto e la pigna. La vespa, al ritorno, ignorava il proprio nido e si introduceva nella sabbia dove indicato dalla nuova posizione dei

due punti di riferimento. Ancora una volta la vespa era stata in un certo senso «ingannata», ma aveva rivelato un'acuità visiva di tutto rispetto. E' come se nel suo preliminare volo in cerchio avesse davvero «scattato una fotografia mentale». Essa sembrava aver riconosciuto il modello, o gestalt, composto dal rametto e dalla pigna. Tinbergen ripeté l'esperimento parecchie volte utilizzando punti di riferimento di tipo diverso, per esempio disponendo alcune pigne in cerchio, con risultati sempre coerenti.

Ora riferirò invece un esperimento compiuto da Gerard Baerends, un allievo di Tinbergen, che contrasta in modo impressionante con quello della «lavatrice» di Fabre. La specie di vespa scavatrice di cui si avvalse Baerends, Ammophila campestris (studiata anche da Fabre), si distingue per essere un'«approvvigionatrice progressiva». La maggior parte delle vespe scavatrici porta delle provviste nel proprio nido e vi depone un uovo, poi compatta il terreno intorno all'entrata e lascia che la giovane larva si nutra da sé. Ma Ammophila è diversa. Come un uccello, torna quotidianamente alla buca per controllare che la larva sia in buone condizioni e le lascia del cibo secondo le sue necessità. E fin qui non c'è nulla di strano. Ma una singola femmina di Ammophila ha due o tre buche da visitare ogni volta. Una conterrà una larva già abbastanza grossa, pressoché adulta; una conterrà una larva molto piccola, [p. 74] appena deposta, e forse ve ne sarà una terza che ospita una larva di età e dimensioni intermedie. Ovviamente le tre avranno necessità alimentari diverse, e la madre le accudisce di conseguenza. Attraverso una minuziosa serie di esperimenti durante i quali venivano scambiate le provviste, Baerends fu in grado di dimostrare che la vespa madre teneva realmente conto delle diverse necessità di cibo di ciascun nido. Sulle prime questo può apparire un

comportamento intelligente, ma Baerends scoprì che in un modo per noi inimmaginabile esso non lo è affatto. La prima operazione mattutina della vespa madre è una visita a tutti i suoi nidi abitati. Ciò che la madre valuta è lo stato di ciascun nido al momento dell'ispezione all'alba, ed esso influenza il suo comportamento di approvvigionamento per tutta la giornata. Baerends poté scambiare il contenuto dei nidi quante volte volle dopo l'ispezione senza che questo influisse in alcun modo sul comportamento di approvvigionamento della madre. Era come se essa avesse attivato il proprio apparato di verifica dei nidi solo per la durata dell'ispezione all'alba e poi, per risparmiare energia durante il resto della giornata, lo avesse spento.

Da un certo punto di vista, questo esperimento indica che la vespa madre possiede complesse strutture che le consentono di compiere conteggi, misurazioni e addirittura calcoli, rendendo facile credere che il suo cervello possa essere ingannato solo da una dettagliatissima somiglianza fra l'orchidea e la femmina. Ma al contempo indica la presenza di una cecità selettiva e una propensione a cadere in inganno che riconducono all'esperimento «della lavatrice», rendendo credibile che una sommaria rassomiglianza fra l'orchidea e la femmina sia più che sufficiente. La lezione generale che se ne può trarre è quella di non usare mai il metro umano per valutazioni di questo genere. Non dovremmo mai affermare, e non dovremmo prendere sul serio coloro che affermano, «Non posso credere che questo o quest'altro si sia evoluto per selezione graduale». Per questo tipo di sofisma ho coniato la definizione di «Argomentazione fondata sull'incredulità personale». In diverse occasioni essa è stata la premessa di più d'uno scivolone intellettuale.

L'argomentazione che intendo controbattere è quella per [p. 75] cui

si afferma che l'evoluzione graduale di una tale o talaltra struttura non è ammissibile perché, «ovviamente», questa doveva essere completa e perfetta per poter funzionare. Per il momento, nella mia risposta, ho dimostrato che le vespe e altri animali hanno una visione del mondo molto diversa dalla nostra, e che in ogni caso ingannarle non è difficile. Ma vi sono altri argomenti che voglio sviluppare e che ritengo ancora più convincenti e di più ampio interesse. Proviamo a utilizzare l'aggettivo «fragile» per indicare un dispositivo che, per funzionare, non può essere meno che perfetto, come il mio corrispondente riteneva a proposito delle capacità imitative dell'orchidea. In pratica è molto difficile pensare a un dispositivo inequivocabilmente fragile, e ciò è significativo. Un aereo non è fragile, perché anche se preferiremmo affidare la nostra vita a un Boeing 747 perfettamente funzionante in ogni suo minimo componente, esso può volare nonostante la perdita di parti importanti dell'equipaggiamento, come uno o addirittura due motori. Un

microscopio non è fragile perché anche se è di qualità inferiore e l'immagine è confusa e male illuminata, per osservare oggetti piccoli è comunque migliore dell'occhio nudo. Una radio non è fragile perché se qualche sua parte non funziona bene potrà perdere in fedeltà e il suono potrà farsi metallico e distorto, ma il significato delle parole può ugualmente essere percepito. Per dieci minuti ho guardato fuori della finestra cercando di farmi venire in mente un buon esempio di invenzione umana fragile, e ne ho trovata una sola: l'arco. L'arco potrebbe essere definito fragile nel senso che solo quando i suoi due montanti si congiungono esso acquista resistenza e stabilità, ma prima di questo non potrebbe restare in piedi. Un arco

deve essere costruito con l'aiuto di un'impalcatura che fornisca il temporaneo sostegno fino ad opera completata; poi questa viene rimossa e l'arco rimane stabile a lungo.

Se si analizza la tecnologia umana non si vede alcuna ragione per cui un'invenzione, in linea di principio, non dovrebbe essere fragile. Gli ingegneri hanno la libertà di disegnare marchingegni che, se realizzati solo a metà, non funzionerebbero del tutto. Ciononostante anche nel campo dell'ingegneria è raro trovare un'apparecchiatura realmente [p. 76] fragile. Ritengo che questo sia ancora più valido per le apparecchiature viventi. Osserviamo alcune strutture biologiche generalmente considerate fragili, propagandate dai creazionisti. L'esempio della vespa e dell'orchidea è solo uno degli affascinanti fenomeni del mimetismo. Numerosi animali e alcune piante traggono vantaggio dalla loro somiglianza con altre cose, spesso altri animali e altre piante. Quasi ogni aspetto della vita è stato per certi versi migliorato o sovvertito dal mimetismo: 1) per procurarsi il cibo (tigri e leopardi sono pressoché invisibili quando tendono un agguato nascosti in mezzo agli alberi fra macchie di luce e d'ombra; il pesce pescatore si confonde con il fondale marino e attira la preda con la sua lunga «canna da pesca» terminante con una protuberanza vermiforme; lucciole femmes fatales imitano i segnali luminosi di corteggiamento di un'altra specie, e in questo modo attirano i maschi per poi divorarli; il blennio dai denti a sciabola imita il caratteristico nuoto di un altro pesce, il Labrus, specializzato nella pulizia di pesci di grossa taglia, e quando è riuscito ad avvicinarsi all'ospite lo addenta strappandogli lembi di pinne); 2) per evitare di essere divorati (le prede possono imitare il disegno del sughero, rametti, foglie verdi, foglie secche accartocciate, fiori, spine di rosa, alghe marine, pietre, escrementi di uccello, oppure altre specie note per la loro velenosità); 3) per

distogliere i predatori dai piccoli (le avocette e molti altri uccelli che fanno il nido al suolo imitano l'atteggiamento e l'andatura di un uccello con un'ala spezzata); 4) per ottenere che altre specie covino le loro uova (le uova del cuculo somigliano a

[PAGINA 53]

quelle di due particolari specie ospiti che vengono parassitate; le femmine di alcune specie di pesci recano sui lati immagini di uova che inducono i maschi a raccogliere e a incubare le uova vere).

In tutti i casi vi è la tentazione di pensare che il mimetismo non abbia efficacia a meno che non sia perfetto. Nel caso particolare dell'orchidea che ha assunto alcune caratteristiche della vespa, ho dimostrato le imperfezioni percettive delle vespe e di altre vittime del mimetismo. Ai miei occhi le orchidee non sono poi tanto sorprendenti nella loro somiglianza con vespe, api o mosche. La somiglianza di un insetto foglia con una foglia appare ai miei occhi molto più precisa, forse perché i [p. 77] miei occhi sono più simili a quelli dei predatori (presumibilmente uccelli) contro cui questo tipo di mimetismo è diretto.

Ma qui subentra un senso più generale in cui l'affermazione del sacerdote deve essere considerata erronea. Per quanto buoni gli occhi di un predatore possano essere, le condizioni in cui esso impiega la sua facoltà visiva non sono sempre perfette. Inoltre si verificherà quasi inevitabilmente un continuum di condizioni - da quelle proibitive a quelle ottimali - in cui il predatore impiega la sua facoltà visiva. Pensate a un oggetto che conoscete veramente bene, così bene da non poterlo mai confondere con qualcos'altro. Oppure pensate a una persona - un'amica intima, ad esempio - così cara e familiare da non poterla confondere con nessuno. E ora immaginate che

questa persona stia camminando verso di voi da lontano. Deve esservi una distanza così grande da non poterla vedere. E deve esservi una distanza così ravvicinata da poter vedere ogni caratteristica, ogni ciglio, ogni poro. A distanze intermedie non vi è una trasformazione improvvisa. Vi è piuttosto una riconoscibilità in termini di dissolvenza in apertura e dissolvenza in chiusura. I manuali militari di tiro con il fucile formulano il concetto in questo modo: «A duecento iarde [circa centottanta metri] tutte le parti del corpo si vedono distintamente. A trecento iarde [circa duecentosettanta metri] il contorno del viso è indistinto. A quattrocento iarde [circa trecentosessanta metri] non si vede il viso. A seicento iarde [circa cinquecentoquaranta metri] la testa sembra un punto e il corpo un bastoncino. Qualche domanda?». Nel caso dell'amica che si sta avvicinando gradualmente, non vi è dubbio che all'improvviso riuscirete a riconoscerla. Ma in questo caso la distanza determina un gradiente di probabilità di riconoscimento improvviso.

La distanza, in un modo o in un altro, determina un gradiente di visibilità. Per ciascun grado di somiglianza fra un modello e la sua imitazione - non importa se la somiglianza sia lampante o quasi inesistente - deve esservi una distanza a cui gli occhi di un predatore possono essere ingannati e una distanza, leggermente più ravvicinata, a cui essi hanno minori probabilità di essere ingannati.

A mano a mano che l'evoluzione procede, le somiglianze via via migliori possono dunque essere favorite dalla selezione naturale, nel senso che la [p. 78] distanza critica per essere ingannati si fa gradualmente più vicina. Io ho detto «gli occhi del predatore» invece di dire «gli occhi di chiunque debba essere ingannato». In alcuni

casi saranno gli occhi della preda, di genitori «adottivi», del pesce femmina e così via.

Ho dimostrato questo effetto in conferenze pubbliche in cui avevo un uditorio di bambini. Il mio collega George Mcgavin, del Museo della Oxford University, mi aveva gentilmente preparato un modello di «suolo di foresta» disseminato di rametti, foglie secche e muschio sul quale aveva sistemato ad arte dozzine di insetti morti. Alcuni, come un coleottero blu metallico, erano certamente visibili; altri, fra cui insetti stecco e farfalle che imitavano una certa foglia, erano meravigliosamente camuffati, e altri ancora, come uno scarafaggio marrone, erano una via di mezzo. Alcuni bambini presenti fra il pubblico furono invitati ad avvicinarsi lentamente al modello cercando con gli occhi gli insetti e segnalando il ritrovamento a voce alta quando ne individuavano uno. Da una certa distanza essi non potevano vedere nemmeno gli insetti più grossi. Man mano che si avvicinavano iniziarono a intravedere prima i più visibili, poi quelli - come lo scarafaggio - di visibilità intermedia, e infine i meglio camuffati. Anche quando poterono fissare a breve distanza gli insetti meglio mimetizzati, i bambini non riuscirono a individuarli, e quando glieli indicai rimasero molto sorpresi.

La distanza non è il solo gradiente riguardo al quale si possa fare questo tipo di ragionamento. Un altro caso è la luce al crepuscolo e all'alba. In piena notte non possiamo scorgere praticamente nulla, e anche la più approssimativa rassomiglianza può andar bene. In pieno sole, nulla di inferiore a un'imitazione meticolosa può ingannare l'occhio. Nelle condizioni medie - cioè all'alba e al tramonto, con poca luce o in una giornata coperta, nella nebbia o quando piove a rovesci - abbiamo un continuum graduale e ininterrotto di visibilità. Ancora una volta, somiglianze di precisione via via maggiore saranno favorite dalla selezione naturale, perché per ogni specifico

miglioramento della rassomiglianza vi sarà un livello di visibilità in coincidenza del quale quel particolare miglioramento cambia radicalmente la situazione. A mano a [p. 79] mano che l'evoluzione procede, somiglianze progressivamente più strette conferiscono vantaggi per la sopravvivenza, poiché l'intensità critica della luce necessaria perché il predatore sia ingannato aumenta gradualmente.

Un gradiente analogo è generato dall'angolo di visuale. Un insetto che ha adottato il mimetismo - non importa se di buona o di modesta qualità - talvolta può essere visto dal predatore con la coda dell'occhio. Altre volte, invece, l'insetto può trovarsi in una

[PAGINA 55]

posizione frontale che non gli lascia scampo. Deve esservi un angolo di visuale così periferico da permettere anche al peggiore imitatore di non essere notato. E deve esservi una visuale così centrale da mettere a repentaglio l'efficacia del mimetismo più riuscito. Fra le due posizioni vi è un gradiente regolare di visuale, un continuum di angolazioni. Per ogni dato livello di perfezione nel mimetismo, vi sarà un'angolazione critica a cui un piccolo miglioramento o un altrettanto piccolo peggioramento determinano una grande differenza. A mano a mano che l'evoluzione procede, le somiglianze di qualità via via migliore vengono favorite, perché l'angolazione critica da cui il predatore può essere ingannato diventa sempre più centrale.

La qualità degli occhi e del cervello del nemico può essere considerata come un altro gradiente, come ho già accennato in questo capitolo. Per ciascun grado di somiglianza fra il modello e la sua imitazione è probabile che vi sia un occhio che può essere ingannato e un occhio che non si lascerà ingannare. Anche in questo caso, con il procedere dell'evoluzione la crescente qualità della somiglianza

viene favorita, perché vengono ingannati predatori con occhi sempre più sofisticati. Non intendo affermare che i predatori evolvono occhi via via più efficienti in parallelo con i miglioramenti dell'imitazione, anche se ciò è possibile. Intendo dire che esistono predatori con occhi efficienti e altri con occhi meno efficienti. Tutti costituiscono un pericolo. Un'imitazione approssimativa ingannerà solo quelli con occhi poco efficienti, mentre una buona imitazione ingannerà tutti. E fra i due estremi vi è un continuum graduale.

Parlare di occhi più efficienti o meno ci conduce a uno degli enigmi prediletti dai creazionisti. A che cosa serve un occhio [p. 80] efficiente per metà? Come la selezione naturale può favorire un occhio meno che perfetto? Ho già trattato la questione, e ho già passato in rassegna una varietà di occhi intermedi, tratti da quelli realmente esistenti nei vari phyla del regno animale. Ora intendo inserirli nel discorso che abbiamo già fatto sui gradienti. Vi è un gradiente, un continuum, di compiti per i quali un occhio può essere utilizzato. In questo momento io sto usando i miei per riconoscere le lettere dell'alfabeto a mano a mano che compaiono sullo schermo del mio computer. Per fare questo occorrono occhi efficienti, dotati di un alto livello di acuità. Io ho raggiunto un'età in cui non si può più leggere senza l'aiuto di occhiali, che per ora non hanno un grande potere di ingrandimento. Ma invecchiando dovrò farmi prescrivere lenti sempre più forti. Senza occhiali troverò sempre più difficile cogliere i dettagli più minuti. E qui abbiamo un altro continuum, quello dell'età.

Ogni essere umano normale, per quanto vecchio, ha una vista migliore di quella di un insetto. Vi sono compiti che possono essere

utilmente svolti da persone che hanno una vista da relativamente modesta a quasi nulla. E' possibile giocare a tennis anche con una visione indistinta, perché la palla da tennis è un oggetto grande, la cui posizione e il cui movimento possono essere seguiti anche se l'oggetto stesso non è a fuoco. Gli occhi delle libellule, sebbene poco efficienti secondo il nostro metro, sono efficienti rispetto agli occhi di altri insetti, e permettono alla libellula di piombare in volo sulla preda, una prestazione di difficoltà equivalente a quella di colpire una palla da tennis. Occhi molto meno efficienti possono essere utilizzati per evitare di andare a sbattere contro un muro o precipitare da una scogliera o in un fiume. E occhi ancora meno efficienti possono essere utili per avvertire la presenza di un'ombra, forse una nuvola o forse un predatore. E occhi pochissimo efficienti potrebbero servire a riconoscere il giorno dalla notte, una cosa utile, fra l'altro, per la sincronizzazione dei cicli riproduttivi e per sapere quando andare a dormire. Vi è un continuum di compiti che possono essere svolti dagli occhi, tale che per ciascuna gradazione di qualità - da superba a modestissima - vi è un livello a cui un minimo miglioramento della vista può determinare una grande differenza. Dunque [p. 81] non vi sono difficoltà a comprendere l'evoluzione graduale dell'occhio, dagli inizi in cui poteva essere un organo rudimentale alla perfezione dell'occhio del falco o di una persona giovane, attraverso un continuum di graduazioni intermedie.

Vediamo dunque che la domanda dei creazionisti - «A che cosa può servire un occhio che vede per metà?» - è del tutto futile. Un occhio che vede per metà dell'1 per cento è migliore di un occhio che vede al 49 per cento, che già è meglio del 48 per cento, e la differenza è significativa. A questo punto compare immancabilmente qualcun altro

con un'argomentazione di rincalzo, che a tutta prima sembrerebbe avere un peso molto maggiore: «Nella mia qualità di fisico, (*) non posso pensare che vi sia stato il tempo sufficiente perché un organo complesso come l'occhio si sia evoluto dal nulla. Lei crede davvero che vi sia stato abbastanza tempo?». Entrambe le domande sono un corollario dell'argomentazione fondata sull'incredulità personale. Tuttavia all'uditorio farebbe piacere ottenere una risposta, così a questo punto tendo solitamente a ricordare l'assoluta immensità del tempo geologico. Se un passo rappresenta un secolo, i quasi venti secoli trascorsi dall'Anno Domini occupano lo spazio di un campo da cricket, e per raggiungere l'origine degli animali pluricellulari in base alla stessa scala dovremmo fare a piedi tutta la strada da New York a San Francisco.

E' dunque evidente che rapportare l'immensità del tempo geologico al tempo necessario per lo sviluppo di una struttura sia come impiegare un maglio a vapore per aprire un'arachide. [p. 82]

L'immagine di una persona che va a piedi da costa a costa dà un'idea molto chiara del tempo disponibile per l'evoluzione dell'occhio. Ma un recente studio condotto da una copia di scienziati svedesi, Dan Nilsson e Susanne Pelger, indica che una frazione ridicolmente piccola di quel tempo fu più che sufficiente. Quando uno dice «l'occhio», intanto, intende implicitamente quello dei vertebrati, ma occhi utili alla formazione di immagini si sono evoluti da quaranta a sessanta volte, quale che fosse il punto di partenza, in numerosi gruppi diversi di invertebrati. Fra questi oltre quaranta episodi indipendenti, sono state scoperte perlomeno nove varianti dell'organizzazione, fra cui un occhio a spillo, due, diversi fra

loro, funzionanti come una macchina fotografica, uno curvo e riflettente (una sorta di antenna parabolica) e parecchi tipi di occhio composto. Nilsson e Pelger si sono concentrati sull'occhio del genere macchina fotografica con lenti, come quelli che sono ben sviluppati sia nei vertebrati sia nella piovra.

Come si fa a calcolare il tempo necessario per una certa quantità di cambiamento evolutivo? Occorre trovare un'unità con cui misurare la dimensione di ciascuno stadio, ed è sensato esprimerla come percentuale di cambiamento di ciò che già esiste. Nilsson e Pelger hanno utilizzato successivi cambiamenti dell'1 per cento come unità per la misurazione dei cambiamenti di quantità anatomiche. E' un'unità adatta al compito, come la caloria, che è definita come la quantità di energia necessaria per compiere una certa quantità di lavoro. E' più facile usare l'unità 1 per cento quando il cambiamento è tutto in un'unica dimensione. Nell'eventualità improbabile che la selezione naturale avesse favorito la crescita illimitata della coda dell'uccello del paradiso, per esempio, quanti stadi sarebbero occorsi perché essa si evolvesse da un metro a un chilometro? Un aumento della lunghezza della coda dell'1 per cento non sarebbe stato nemmeno notato da un ornitologo dilettante. Ciononostante occorrono sorprendentemente pochi stadi perché la coda si allunghi fino a un chilometro: meno di settecento.

L'allungamento di una coda da un metro a un chilometro va molto bene come esempio (ed è anche molto assurdo), ma dove si colloca l'evoluzione di un occhio sulla stessa scala? [p. 83] Il problema è che, nel caso dell'occhio, molte cose devono avvenire parallelamente in molte sue parti diverse. Nilsson e Pelger hanno allestito modelli al computer di occhi in evoluzione per rispondere a due domande. La prima è essenzialmente quella già posta più volte nelle ultime pagine, ma essi la formularono in modo più sistematico: vi è un

regolare gradiente di cambiamento, dalla pelle indifferenziata a un occhio pienamente sviluppato funzionante come una macchina fotografica, tale per cui ogni stadio intermedio sia un miglioramento? (Contrariamente ai progettisti umani, la selezione

[PAGINA 58]

naturale non può muoversi verso il basso, nemmeno se dall'altra parte della vallata c'è la tentazione di una collina più alta.) In secondo luogo - e questa è la domanda con cui abbiamo iniziato la presente sezione - quanto tempo occorrerebbe per la necessaria quantità di cambiamento evolutivo?

Nei loro modelli al computer Nilsson e Pelger non hanno tentato di simulare il funzionamento interno delle cellule. Essi hanno iniziato immediatamente dopo la comparsa di una singola cellula sensibile alla luce, che potremmo chiamare fotocellula. Sarebbe interessante, in futuro, ideare un altro modello - questa volta dell'interno della cellula - per mostrare come la prima fotocellula vivente si formò per graduale modificazione di una precedente cellula non specializzata. Ma bisogna pur cominciare da qualche parte, e Nilsson e Pelger hanno scelto di iniziare dalla comparsa della prima cellula sensibile alla luce. Essi hanno lavorato a livello di tessuti, cioè a livello non della singola cellula ma del tessuto cellulare. La pelle è un tessuto, e altrettanto lo sono l'epitelio intestinale, i muscoli e il fegato. I tessuti possono cambiare in vari modi sotto l'influsso di mutazioni casuali. La superficie degli strati di un tessuto può estendersi o rimpicciolirsi. I tessuti possono diventare più sottili o più spessi. Nel caso particolare di tessuti trasparenti come quello del cristallino è possibile che cambi l'indice di rifrazione (il potere di cambiamento della direzione della luce) di aree localizzate

del tessuto.
Nella simulazione di un occhio come compito distinto, poniamo, dalla simulazione della gamba di un corridore quale il ghepardo, il bello sta nel fatto che l'efficienza può essere facilmente misurata ricorrendo a elementari leggi di ottica. [p. 84] L'occhio è rappresentato in sezione trasversale bidimensionale, e il computer può facilmente calcolarne l'acuità visiva, oppure la risoluzione spaziale, come singolo numero reale. Sarebbe molto più difficile ottenere un equivalente dato numerico per l'efficienza di una gamba di ghepardo o di una colonna vertebrale. Nilsson e Pelger hanno iniziato con una retina piatta posta sopra uno strato di pigmento anch'esso piatto, il tutto sormontato da uno strato di protezione piatto e trasparente. Lo strato trasparente è stato lasciato libero di intraprendere mutazioni locali casuali del suo indice di rifrazione. Poi i due studiosi hanno permesso che il modello si deformasse casualmente, con l'unico vincolo che ciascun cambiamento dovesse essere di modesta entità e dovesse comportare di volta in volta un miglioramento.
I risultati furono pronti e decisivi. Man mano che il modello dell'occhio si modificava sullo schermo del computer, una retta di valori riferiti all'acuità in funzione di quelle modificazioni, con un andamento costante e deciso verso l'alto, si originò dall'iniziale

struttura piatta del cristallino passando poi attraverso una curvatura appena accennata e internamente cava, fino a giungere a un arrotondamento sempre più pronunciato. Lo strato trasparente si ispessì riempiendo l'arrotondamento e accentuando gradualmente la curvatura della superficie esterna, dopo di che, quasi come in un

gioco di prestigio, una parte del riempimento trasparente si condensò in una subregione localizzata di forma sferica, dotata di un indice di rifrazione più alto. Non uniformemente più alto, ma un gradiente di indice di rifrazione tale che la regione di forma sferica funzionasse come un'ottima lente con indice di rifrazione variabile. L'ottico non ha familiarità con questo tipo di lente, che tuttavia è una struttura biologica comune. Le lenti fabbricate dall'uomo sono ottenute dando loro una forma particolare. L'uomo costruisce una lente composita, come le costose lenti delle macchine fotografiche di recente concezione, montando insieme diverse lenti di spessore uniforme. Una lente con indice di rifrazione variabile, al contrario, entro la propria sostanza ha indici di rifrazione diversi. Tipicamente, essa ha un indice di rifrazione elevato in prossimità del centro. Gli occhi dei pesci hanno questo tipo di [p. 85] lente. Da parecchio tempo, ormai, sappiamo che per una lente simile l'aberrazione viene eliminata con il raggiungimento di un particolare valore teorico ottimale del rapporto fra la lunghezza focale e il raggio della lente. Questo valore viene chiamato rapporto di Mattiessen. Ebbene, il modello ottenuto da Nilsson e Pelger con l'aiuto del computer era approdato a un inequivocabile rapporto di Mattiessen.

E con ciò abbiamo risposto a chi si domandava quanto tempo sarebbe potuto occorrere perché si producesse un simile cambiamento evolutivo. Per rispondere alla domanda Nilsson e Pelger dovettero stabilire alcune premesse sulla genetica di popolazioni naturali. I due studiosi avevano la necessità di introdurre nel loro modello valori plausibili di quantità quale l'«ereditabilità», cioè la misura di quanto una variazione sia governata dall'ereditarietà. Il miglior modo per ricavarla è misurare la somiglianza reciproca dei gemelli monozigoti (cioè «identici») confrontandola con la somiglianza tra

gemelli eterozigoti. Secondo uno studio, l'ereditabilità della lunghezza della gamba nel maschio umano è del 77 per cento. Un'ereditabilità del 100 per cento significherebbe poter misurare la gamba di uno dei due gemelli identici per avere la perfetta conoscenza della lunghezza della gamba dell'altro, anche nel caso in cui i due siano stati allevati separatamente. Un'ereditabilità dello zero per cento significherebbe che le gambe dei gemelli monozigoti non sono reciprocamente più simili delle gambe di membri scelti a caso di una specifica popolazione in un dato ambiente. Per quanto riguarda altre parti del corpo, l'ereditabilità fra individui di

[PAGINA 60]

popolazioni umane è del 95 per cento per la larghezza della testa, dell'85 per cento per l'altezza da seduto, dell'80 per cento per la lunghezza del braccio e del 79 per cento per la statura.

Spesso l'ereditabilità supera il 50 per cento, e Nilsson e Pelger ritennero equo attribuire un'ereditabilità del 50 per cento al loro modello di occhio. Si trattò di un'ipotesi prudente, cioè sostanzialmente «pessimistica». Al confronto con un'ipotesi più realistica quale sarebbe stata un'ereditabilità del 70 per cento, una pessimistica, in questo caso, avrebbe fatto aumentare il tempo stimato occorrente per l'evoluzione dell'occhio. Essi volevano un valore sovrastimato perché, intuitivamente, [p. 86] la gente avrebbe diffidato di una stima troppo bassa per l'evoluzione di una struttura complessa come l'occhio.

Per la stessa ragione scelsero valori pessimistici per il coefficiente di variazione (cioè per la quantità di variazione tipicamente presente nell'ambito della popolazione) e per l'intensità della selezione (la quantificazione del vantaggio, in termini di

sopravvivenza, conferito dal possesso di una vista migliore). Nilsson e Pelger si spinsero addirittura fino al punto di assumere che ciascuna nuova generazione differisse dalle precedenti in una sola parte dell'occhio per volta, escludendo dal modello i cambiamenti simultanei di parti diverse, che avrebbero accelerato non poco il processo evolutivo. Ma anche con queste ipotesi prudenti, il tempo per l'evoluzione dell'occhio dei pesci a partire da un tessuto non ancora fotosensibile risultò brevissimo: poco più di quattrocentomila generazioni. Poiché quelli presi in considerazione sono animali di piccola taglia, possiamo ipotizzare una generazione all'anno, e ciò significa meno di mezzo milione di anni per evolvere un occhio efficiente, funzionante come una macchina fotografica.

Alla luce dei risultati di Nilsson e Pelger, non stupisce che quello che noi consideriamo «l'occhio» per antonomasia si sia evoluto indipendentemente in almeno quaranta animali diversi, e che all'interno di ciascuna linea evolutiva vi fosse abbastanza tempo perché si potesse compiere un processo completo attraverso millecinquecento stadi successivi. Assumendo l'intervallo tipico fra due generazioni per animali di piccola taglia, il tempo necessario per l'evoluzione dell'occhio non è certo così ampio come alcuni credono, ma anzi troppo breve perché i geologi possano misurarlo secondo il loro metro: in termini geologici è lungo quanto un batter d'occhi.

Far bene senza farsi notare. Una caratteristica fondamentale dell'evoluzione è la sua gradualità. E' soprattutto una questione di principio. Può accadere, oppure può non accadere, che alcuni episodi evolutivi assumano improvvisamente un nuovo andamento. Possono svilupparsi i cosiddetti punteggiamenti, cioè i momenti di evoluzione

particolarmente rapida, o possono addirittura verificarsi delle macromutazioni improvvise, cioè cambiamenti così profondi da rendere la prole molto diversa dagli individui parentali. Certamente, vi [p. 87] sono state estinzioni improvvise - forse causate da grandi catastrofi naturali avvenute in seguito all'impatto di comete con la terra - e queste lasciano dei vuoti che vengono riempiti da animali in rapida evoluzione, come nel caso della sostituzione dei dinosauri da parte dei mammiferi. E' possibile che non sempre le mutazioni siano graduali, ma devono esserlo quando vengono usate per spiegare l'evoluzione di strutture complesse che hanno una funzione evidente, come l'occhio. Se in quei casi l'evoluzione non fosse graduale, cesserebbe di avere qualsiasi potere esplicativo. Senza gradualità, in quei casi, regrediremmo al miracolo, che è semplicemente sinonimo di totale assenza di spiegazione.

Il motivo per cui la stessa esistenza degli occhi e delle orchidee impollinate dalla vespa maschio ci impressiona tanto è la sua improbabilità. Le probabilità contrarie a uno sviluppo spontaneo casuale di simili strutture sono così grandi da non appartenere nemmeno al mondo reale. L'evoluzione graduale per piccoli passi, ciascuno dei quali fortunato, ma non troppo, è la soluzione dell'enigma. Senza gradualità non vi è soluzione, vi è soltanto una nuova formulazione dei termini dell'enigma.

Vi sono occasioni in cui è difficile immaginare l'aspetto degli stadi intermedi di una struttura. Questa può essere una sfida alla nostra immaginazione, ma se appunto è la nostra immaginazione che viene a mancarci, tanto peggio per noi. Ciò non dimostra che non vi furono stadi intermedi. Una delle sfide più ardue, a questo proposito, è costituita da quel particolare modo di comunicazione che sono le ben note danze delle api, fatteci conoscere da Karl von

Frisch attraverso la sua opera ormai divenuta un classico. In questo caso il prodotto finale dell'evoluzione appare così complicato, così ingegnoso e così lontano da tutto ciò che potremmo aspettarci da un insetto da rendere veramente difficile immaginare degli stadi intermedi.

L'ape domestica comunica alle proprie compagne l'ubicazione di una fonte di nutrimento mediante danze accuratamente codificate. Se il cibo è molto vicino essa esegue la «danza circolare», che allarma le altre api e le induce a uscire e a cercare in prossimità dell'alveare. E fin qui nulla di notevole. [p. 88] Ma molto notevole è invece ciò che accade quando il nutrimento è a una distanza maggiore. L'esploratrice esegue la «danza a otto», il cui ritmo, unito alla frequenza delle oscillazioni laterali dell'addome, indica alle altre api sia la direzione della fonte trofica in riferimento al sole sia la sua distanza dall'alveare. La «danza a otto» è eseguita all'interno dell'alveare, sulla superficie verticale del favo, e

poiché è buio, essa non viene vista ma percepita dalle altre api. Inoltre viene udita, in quanto è accompagnata dagli impulsi sonori prodotti dalla vibrazione delle ali. Questa danza, come abbiamo detto, disegna un otto con un tratto rettilineo nella parte mediana indicante, in forma ingegnosamente codificata, la direzione che le api operaie dovranno prendere per approvvigionarsi.

Ma il tratto rettilineo non punta direttamente verso il cibo, poiché la danza viene eseguita sulla superficie verticale del favo, il cui allineamento, ovunque il cibo possa trovarsi, è fisso. Questo deve essere localizzato in un paesaggio disposto orizzontalmente, mentre la superficie verticale del favo può essere paragonata a una carta

geografica fissata al muro. Una linea tracciata su essa non indica direttamente una particolare direzione, che può invece essere interpretata con l'aiuto di una convenzione arbitraria.

Per comprendere la convenzione utilizzata dalle api occorre innanzitutto ricordare che queste, insieme a molti altri insetti, utilizzano il sole come bussola per il volo. Anche noi facciamo qualcosa di abbastanza simile. Il metodo ha due inconvenienti. Innanzitutto il sole spesso è nascosto dalle nuvole, ma le api risolvono il problema mediante un senso che noi non abbiamo. Anche in questo caso fu von Frisch a scoprire che esse sono in grado di rilevare la posizione del sole - anche quando l'astro è invisibile - basandosi sulla direzione della polarizzazione della luce. Il secondo problema è il movimento apparente del sole, a cui le api fanno fronte utilizzando un orologio interno. Von Frisch fece l'incredibile scoperta che le api danzatrici rimaste chiuse nell'alveare per ore dopo l'esplorazione ruotavano lentamente la direzione del tratto rettilineo della loro danza come se fosse la lancetta dell'ora di un orologio indicante ventiquattro ore. Esse non potevano vedere il sole all'interno dell'alveare, ma cambiavano [p. 89] lentamente l'angolazione della direzione della loro danza per mantenere il passo con l'apparente movimento solare che avveniva all'esterno secondo le indicazioni del proprio orologio interno. Tuttavia ciò che lascia maggiormente affascinati è che le specie dell'emisfero australe fanno esattamente l'inverso, proprio come ci si può aspettare.

E ora passiamo al codice della danza in sé. Un tratto rettilineo che coincida con la verticale del favo e punti verso l'alto segnala che la fonte trofica si trova nella stessa direzione del sole, mentre se punta verso il basso indica la direzione opposta. La stessa corrispondenza vale per tutte le angolazioni intermedie. Cinquanta gradi a sinistra dell'asse verticale significa 50º a sinistra della

direzione del sole sul piano orizzontale. Tuttavia l'accuratezza della danza non è assoluta. E perché dovrebbe esserlo, considerando che la suddivisione della bussola in 360º è una nostra convenzione arbitraria? Le api suddividono la loro bussola in circa 8

[PAGINA 63]

«gradi-ape». In pratica, questo è approssimativamente ciò che facciamo anche noi quando ce ne serviamo da navigatori non professionali, suddividendola idealmente in otto quadranti: nord, nordest, est, sudest, sud, sudovest, ovest, nordovest.

La danza delle api fornisce indicazioni codificate anche riguardo alla distanza. Ma forse è più appropriato dire che varie caratteristiche della danza - la rapidità di rotazione, la frequenza delle oscillazioni laterali dell'addome e della produzione di impulsi sonori - sono correlate alla distanza dal cibo, e ciascuna di esse o ciascuna combinazione può essere utilizzata dalle altre api. Più il cibo è vicino più la danza è rapida. Questa correlazione è facile da ricordare considerando che un'ape che ha trovato una fonte di nutrimento vicino all'alveare sarà probabilmente più eccitata, e meno stanca, di un'ape che si è spinta più lontano. Questa considerazione è più di un aide-memoire, perché ci indica in qual modo la danza si evolse, come vedremo in seguito.

Ricapitolando, un'ape esploratrice trova una buona fonte di cibo. Torna all'alveare carica di nettare e di polline e consegna il suo carico alle operaie. Poi inizia la danza. In un punto di un favo verticale, non importa esattamente dove, l'ape disegna più volte nell'aria un otto preciso. Altre operaie [p. 90] le si affollano intorno, pronte ad ascoltarla e a percepire il suo messaggio. Le operaie valutano la frequenza dei suoni prodotti dall'esploratrice e

forse anche la rapidità con cui essa compie ciascun giro. Esse misurano, relativamente alla verticale, l'angolo del tratto rettilineo della danza mentre la danzatrice oscilla l'addome. Poi si portano in massa all'apertura dell'alveare immerso nell'oscurità e irrompono fuori, alla luce del sole. Osservano la posizione del sole in riferimento non alla sua altezza verticale ma al piano orizzontale. Dopo di che volano via l'una dietro l'altra in una fila diritta il cui angolo rispetto al sole equivale all'angolo formato, nel corso della danza, dal tratto rettilineo e dalla verticale sul favo. Lo sciame continua a volare seguendo questo orientamento, non per una distanza infinita ma per una distanza (inversamente) proporzionale al (logaritmo della) frequenza dei segnali sonori emessi dalla danzatrice. E' interessante osservare che se nel corso della sua ricerca l'ape ha compiuto un giro tortuoso, la sua danza non ne terrà conto ma indicherà direttamente la posizione del cibo ricostruita sulla sua bussola.

La danza delle api è un sistema di comunicazione così particolare che alcuni hanno messo in discussione gli studi di von Frisch. Tornerò a rivolgermi agli scettici, e riferirò sui recenti esperimenti che hanno condotto a risultati definitivi, nel prossimo capitolo. In questo voglio invece discutere la sua graduale evoluzione. Come potevano essere gli stadi intermedi, e qual era la loro funzionalità

quando la danza era ancora incompleta?

Intanto occorre dire che il modo in cui la domanda è formulata non è del tutto corretto. Nessun organismo riesce a sopravvivere se «incompleto», cioè a uno stadio «intermedio». Le api scomparse da lungo tempo, le cui danze, a posteriori, possono essere interpretate

come uno stadio intermedio sulla via delle modalità di danza attuali, non avevano difficoltà, ma conducevano un'esistenza pienamente consona alla loro specie e non si sentivano certamente «sulla strada» di un modo di vita «migliore». Inoltre non è detto che la danza delle api attuali sia perfetta, e potrebbe evolversi in qualcosa di ancor più spettacolare quando sia noi che loro non ci saremo [p. 91] più. Ciononostante noi non rinunciamo a domandarci come la danza attuale possa essersi gradualmente evoluta, come gli stadi intermedi si presentassero e come funzionassero.

Von Frisch stesso si è dedicato a trovare una risposta, e ha affrontato il problema esaminando l'albero evolutivo delle api in cerca dei loro distanti cugini attuali, che non sono predecessori dell'ape domestica ma suoi contemporanei. L'ape domestica è un insetto tipico delle zone temperate che cerca riparo per il proprio nido negli alberi cavi o in anfratti naturali. Le sue parenti più prossime sono le api tropicali che hanno la possibilità di fare il nido all'aperto, assicurando l'alveare a un ramo o a uno spuntone di roccia. Le api tropicali hanno quindi la possibilità di vedere il sole mentre danzano, e non devono far ricorso a un codice per indicarne la direzione.

Una di queste parenti tropicali, Apis florea, ovvero l'ape nana, danza sulla superficie orizzontale alla sommità dell'alveare. Il tratto rettilineo della danza punta direttamente verso il cibo. Non le occorre avere una convenzione geografica, poiché un'indicazione diretta è più che sufficiente. Questo può essere certamente considerato un plausibile stadio di transizione verso l'ape domestica, certamente, ma è necessario riflettere anche sugli altri stadi intermedi che lo avevano preceduto e seguito. Quali poterono essere gli antecedenti della danza dell'ape nana? Perché un'ape che ha appena trovato del cibo dovrebbe affrettarsi a indicarlo con «una

danza a otto»? E' stato suggerito che questo comportamento sia una forma ritualizzata del percorso compiuto per innalzarsi in volo. Prima che la danza si evolvesse, ha proposto von Frisch, un'esploratrice che aveva appena scaricato il polline sarebbe potuta semplicemente ripartire nella stessa direzione per tornare in volo sul luogo di approvvigionamento. Preparandosi a innalzarsi in volo essa si sarebbe girata nella giusta direzione facendo alcuni passi. E' probabile, secondo von Frisch, che la selezione naturale abbia favorito qualsiasi tendenza che sfociasse nell'accentuazione o nel prolungamento dei preliminari dell'innalzamento in volo

[PAGINA 65]

dell'esploratrice, incoraggiando le altre api a seguirla. Forse la danza è una specie di preliminare ritualizzato del decollo. Sembra un'ipotesi plausibile [p. 92] poiché - indipendentemente dal fatto che eseguano una danza oppure no - le api ricorrono frequentemente a una tattica più diretta che consiste nel seguirsi l'un l'altra fino alla fonte di cibo. Un altro fatto che conferisce plausibilità a questa ipotesi è che la danzatrice tiene le ali leggermente aperte, come se si preparasse a volare, e fa vibrare la loro muscolatura non così vigorosamente come se stesse davvero per spiccare il volo ma tanto da produrre quel suono che è un segnale così importante nella danza.

Uno dei modi più ovvi per prolungare ed enfatizzare i preliminari dell'innalzamento in volo è ripeterli, cioè riprenderli dall'inizio muovendo nel frattempo qualche passo in direzione del cibo. Vi sono due modi per tornare all'inizio: giunti alla fine del percorso o si gira a destra o si gira a sinistra. Se si gira sempre a sinistra oppure sempre a destra non sarà chiara né la direzione del decollo né

quella del viaggio di ritorno. Il miglior modo per eliminare l'ambiguità è girare alternativamente a sinistra e a destra. E questo spiega come la selezione naturale abbia favorito il modello di «danza a otto.»

Ma come si evolse il rapporto fra distanza del cibo e ritmo della danza? Se il ritmo avesse una correlazione diretta con la distanza del cibo, il rapporto sarebbe difficile da spiegare. Ma, come ricorderete, le cose stanno all'incontrario: più vicino è il cibo, più rapida è la danza. Ciò suggerisce immediatamente un'ipotesi plausibile di evoluzione graduale. Prima che si evolvesse la danza vera e propria, può darsi che le esploratrici eseguissero la ripetizione stereotipata dei preliminari del decollo ma non a una velocità particolare. Il ritmo della danza dipendeva quindi da come l'ape si sentiva al momento. Ma se voi tornaste da un volo di parecchie miglia stracarichi di nettare e polline, avreste ancora voglia di danzare a tutta velocità intorno all'alveare? No, molto probabilmente sareste esausti. D'altra parte, se aveste appena scoperto una ricca fonte di cibo piuttosto vicina all'alveare, il breve viaggio di ritorno verso casa vi avrebbe lasciati freschi e pieni di energia. Dunque non è difficile immaginare come un originario rapporto accidentale fra distanza del cibo e lentezza della danza potesse ritualizzarsi in un codice formale e affidabile.

E ora dedichiamoci all'analisi dello stadio intermedio, che [p. 93] presenta le maggiori difficoltà. Come ha fatto l'antica danza in cui il tratto rettilineo indicava direttamente il cibo a trasformarsi in una danza in cui l'angolo relativo alla verticale diventa un codice per l'angolo fra la direzione del cibo e quella del sole? Una simile trasformazione avvenne in parte perché l'interno dell'alveare è buio

e il sole non è visibile, e in parte perché quando l'ape danza su un favo verticale le è impossibile puntare direttamente verso il cibo a meno che la superficie stessa non sia casualmente orientata in quella direzione. Ma non è sufficiente mostrare che alcune di queste trasformazioni erano necessarie. Dobbiamo spiegare anche come una transizione così difficile fu raggiunta attraverso una serie plausibile di successivi stadi intermedi.

Può apparire strano, ma vi è una particolarità del sistema nervoso degli insetti che può venirci in aiuto. Il singolare esperimento di cui sto per riferirvi è stato compiuto su una varietà di insetti, dallo scarafaggio alla formica. L'esperimento inizia con uno scarafaggio che cammina lungo un'asse di legno sistemata orizzontalmente in presenza di una luce elettrica. La prima deduzione è che lo scarafaggio si orienta con la luce, poiché spostando la lampadina si osserva che l'insetto cambia direzione di conseguenza. Se originariamente l'insetto manteneva una direzione di marcia che formava un angolo di 30º rispetto alla fonte luminosa, tenderà a mantenersi a circa 30º rispetto alla nuova posizione della luce. Di fatto, è possibile indirizzarlo ovunque si voglia semplicemente utilizzando il raggio di luce come barra del timone. Questa particolarità degli insetti è nota da lungo tempo: essi utilizzano il sole (o la luna, o le stelle) come bussola, e li si inganna facilmente con una lampadina. E fin qui è tutto chiaro. Ora passiamo alla parte più interessante dell'esperimento. Spegniamo la luce e contemporaneamente mettiamo l'asse in posizione verticale. Imperterrito, lo scarafaggio continua a camminare e, mirabile dictu, cambia la direzione di marcia in modo che l'angolo che essa forma con la verticale sia uguale al precedente angolo relativamente alla luce: nel nostro caso 30º. Nessuno sa come questo accada, ma accade, e

sembra indicare una particolarità del sistema nervoso dell'insetto: una confusione sensoriale, un incrociarsi delle vie nervose deputate [p. 94] alla percezione della gravità e al senso della vista, forse qualcosa di simile al bagliore luminoso che ci sembra di vedere se qualcuno ci colpisce violentemente sulla testa. In ogni caso è probabile che sia stata proprio questa particolarità del sistema nervoso dell'insetto a fornire il ponte necessario per l'evoluzione del codice «verticale sta per sole» della danza delle api.

Ma vi è un altro esperimento non meno rivelatore. Se si introduce una fonte luminosa all'interno di un alveare, l'ape domestica cessa di utilizzare la sua percezione della gravità e immette direttamente nel proprio codice il dato costituito dalla direzione della luce per indicare il sole. Questo comportamento, che ci è noto da tempo, è stato documentato in uno dei più ingegnosi esperimenti etologici mai compiuti, quello che ha fornito la prova definitiva della reale efficienza della danza delle api. Di tutto questo riferirò nel

[PAGINA 67]

prossimo capitolo. Nel frattempo abbiamo trovato una serie plausibile di stadi intermedi attraverso cui la danza delle api, così come viene eseguita oggi, potrebbe essersi evoluta da inizi più semplici. La vicenda che racconterò nel prossimo capitolo, basata sulle idee di von Frisch, potrebbe non coincidere in tutti i dettagli con gli avvenimenti reali, ma è certamente fedele a grandi linee. Io l'ho narrata in risposta a una certa forma di scetticismo - l'argomentazione basata sull'incredulità personale - che si crea in taluni quando si trovano dinanzi a un fenomeno naturale particolarmente ingegnoso o complesso. Lo scettico dice: «Non riesco a immaginare una serie plausibile di stadi intermedi, quindi non ne è

esistito nessuno e il fenomeno si è presentato spontaneamente, come un miracolo». Von Frisch ha fornito una plausibile serie di stadi intermedi, e anche se questi non sono perfettamente aderenti alla realtà, il fatto in sé che siano plausibili è sufficiente a confutare l'argomentazione basata sull'incredulità personale. Lo stesso vale per tutti gli altri esempi che abbiamo passato in rassegna, dall'orchidea che imita la vespa femmina agli occhi strutturati come una macchina fotografica.

Praticamente ogni fatto naturale curioso e difficilmente spiegabile potrebbe essere chiamato in causa da chi non crede nel gradualismo evolutivo e nel darwinismo. Per esempio, [p. 95] mi è stato chiesto di spiegare l'evoluzione graduale delle creature che vivono nelle profondità dell'Oceano Pacifico, dove non vi è luce e la pressione dell'acqua può essere superiore a 1'000 atmosfere. Un'intera comunità di animali è cresciuta intorno alle calde bocche vulcaniche delle fosse del Pacifico. In questo ambiente, alcuni batteri hanno sviluppato una biochimica del tutto alternativa che utilizza il calore fuoriuscente dai vulcani sottomarini e metabolizza lo zolfo invece dell'ossigeno. La fauna oceanica di taglia più grossa dipende in ultima analisi da questi solfobatteri nello stesso modo in cui la vita che si svolge sulla superficie del pianeta dipende dalle piante che catturano l'energia solare.

Gli animali che vivono nella comunità «solforosa» sono tutti imparentati con animali più convenzionali che si incontrano altrove. Come si evolsero e quali furono gli stadi intermedi di tale evoluzione? Ebbene, l'organizzazione del ragionamento sarà sempre la stessa. Tutto ciò che ci occorre è almeno un gradiente naturale, e i gradienti abbondano a mano a mano che discendiamo nelle profondità oceaniche. Mille atmosfere corrispondono a una pressione spaventosa, ma una simile pressione è solo quantitativamente maggiore di quella

corrispondente a 999 atmosfere, che è solo quantitativamente maggiore di quella corrispondente a 998 atmosfere, e così via. Il fondale oceanico offre gradienti di profondità da zero a 10'000 metri, con tutti i valori intermedi. La pressione varia gradualmente da

un'atmosfera a 1'000 atmosfere. L'intensità della luce varia gradualmente dalla luce viva del giorno in prossimità della superficie al buio assoluto delle fosse più profonde, punteggiato dalle rare comunità di batteri luminescenti che vivono negli organi luminosi dei pesci. Nemmeno in questo ambiente vi sono passaggi bruschi. Per ciascun livello di pressione e di oscurità dove vi sono animali già adattati, esisterà un modello di animale la cui organizzazione è solo leggermente diversa da quella degli animali esistenti, che sarà in grado di sopravvivere anche a un solo braccio più in profondità e con una luminosità anche di un solo lumen inferiore. Per ciascun"' ma questo capitolo si sta facendo anche troppo lungo. Lei conosce i miei metodi, Watson. E allora li applichi.

NOTE:
(*) Spero che questo non suoni offensivo. A sostegno della mia tesi, cito un passo di un valente fisico, padre John Polkinghorne, da «Science and Christian Belief» (1994, pag' 16): «Uno studioso come Richard Dawkins può presentare un quadro persuasivo di come l'accumulazione di piccole differenze possa dare luogo ad ampi sviluppi, ma, istintivamente, un fisico vorrebbe immediatamente avere davanti agli occhi una stima, ancorché approssimativa, di quanti passaggi graduali intercorrano fra una cellula vagamente

fotosensibile e l'occhio pienamente formato di un insetto, e del possibile numero di generazioni richieste affinché si producano le necessarie mutazioni».

[p. 97] 4.
La funzione di utilità di Dio

Il sacerdote la cui lettera ricordavo nel capitolo precedente aveva trovato la fede grazie a una vespa. Charles Darwin, al contrario, la perse con la collaborazione di un altro insetto: «Non riesco a persuadermi», scrisse Darwin, «che un Dio benefico e onnipotente abbia volutamente creato gli icneumonidi con l'espressa intenzione che essi si nutrano entro il corpo vivente dei bruchi». In realtà, la sua graduale perdita della fede, che egli tentò di dissimulare per non gettare nello sconforto Emma, la devota moglie, aveva cause più complesse. Ciò che vale per gli icneumonidi vale anche per gli altri insetti. Le macabre abitudini a cui Darwin si riferiva sono condivise dalla cugina degli icneumonidi, la vespa scavatrice già incontrata nel capitolo precedente. La femmina di questa specie non si limita a deporre l'uovo nel corpo di un bruco (o di una cavalletta o di un'ape) in modo che la sua larva possa cibarsene, ma, secondo Fabre e

altri, introduce attentamente il proprio pungiglione in ciascun ganglio del sistema nervoso centrale dell'individuo parassitato in modo da paralizzarlo ma non da ucciderlo. In questo modo la provvista alimentare si mantiene fresca. Non sappiamo se la sostanza introdotta con la puntura paralizzante sia anche un anestetico generale oppure

se abbia soltanto un effetto simile a quello del curaro, che impedisce alla vittima di muoversi. In questo caso la preda potrebbe essere consapevole di venire mangiata viva dall'interno, ma sarebbe incapace di muovere anche un solo muscolo per difendersi. Ciò appare di una crudeltà inaudita ma, come vedremo, la natura non è crudele, è solo spietatamente [p. 98] indifferente. Questa è una delle più dure lezioni che un essere umano debba imparare. Noi non riusciamo ad ammettere che gli eventi della vita possano essere né positivi né negativi, né spietati né compassionevoli, ma semplicemente indifferenti alla sofferenza, mancanti di scopo.

Noi esseri umani abbiamo sempre presente il concetto di scopo. Ci è difficile soffermarci su qualcosa senza domandarci quale sia la sua funzione, quale il suo motivo o quale il suo obiettivo. Quando l'ossessione per lo scopo diventa patologica le si dà il nome di paranoia, consistente nell'interpretare come scopo negativo ciò che in realtà è soltanto casuale sfortuna. Ma questa è una forma estrema di una fissazione pressoché universale. Mostrateci un qualsiasi oggetto o processo e ci sarà difficile resistere alla tentazione di chiedere «Perché» e «A quale scopo».

Il desiderio di individuare uno scopo in ogni dove è naturale in un animale che vive circondato da macchine, da opere d'arte, da strumenti e da manufatti aventi una precisa destinazione; un animale, per di più, i cui pensieri sono costantemente dominati dai propri obiettivi personali. Un'automobile, un apriscatole, un cacciavite o un forcone giustificano tutti la domanda: «A che cosa serve?». E' probabile che i nostri predecessori pagani si siano posti il medesimo interrogativo sul tuono, sulle eclissi, sulle rocce e sui corsi d'acqua. Oggi ci facciamo vanto di esserci scrollati di dosso questo animismo così primitivo. Se una pietra che si trova nel mezzo di un ruscello si rivela un comodo punto di appoggio per attraversarlo, noi

consideriamo la sua utilità come un beneficio casuale, non come un vero e proprio scopo. Ma la tentazione atavica riaffiora prepotentemente quando veniamo colpiti da una tragedia (la parola stessa «colpiti» ha un'eco animistica): «Perché, perché il cancroìil terremotoìl'uragano ha colpito proprio mio figlio?». E la medesima tentazione può diventare addirittura motivo di compiacimento quando il dibattito verte su argomenti come l'origine di tutte le cose o le leggi fondamentali della fisica, nel qual caso culminerà puntualmente nella vuota domanda esistenziale «Perché vi è qualcosa invece del nulla?».

[PAGINA 70]
Ormai ho perso il conto delle volte in cui qualcuno si è alzato [p. 99] al termine di una conferenza per proclamare: «Voi scienziati siete molto bravi a rispondere alle domande sui «Come», ma dovreste ammettere di essere impotenti dinanzi alle domande sui «Perché»». Lo stesso principe Filippo, duca di Edimburgo, fece questa osservazione al termine di una conferenza tenuta a Windsor dal mio collega Peter Atkins. Dietro la domanda vi è sempre il sottinteso, mai giustificato, che essendo la scienza incapace di rispondere a domande sui «Perché», deve esistere un'altra disciplina che è qualificata a dare le risposte: un sottinteso, ovviamente, del tutto illogico.

Credo proprio che Atkins abbia liquidato il «Perché» regale piuttosto sbrigativamente. Il mero fatto che sia possibile formulare una domanda non la rende di per sé né legittima né sensata. Esistono molte cose su cui è possibile domandare «Qual è la sua temperatura?» o «Di quale colore è?», ma queste domande non si possono porre riguardo ad altri argomenti, come la gelosia o la preghiera. Analogamente, è giusto domandare «Perché» riguardo ai parafanghi di

una bicicletta o riguardo alla diga di Kariba, ma non si ha il diritto di presumere che una domanda sul «Perché» meriti una risposta quando riguardi un masso, una sventura, l'Everest o l'universo. Può succedere che una domanda sia semplicemente impropria, anche se profondamente sentita.

In un punto indeterminato fra i tergicristalli e gli apriscatole da una parte e i massi e l'universo dall'altra si situa il vivente. Un corpo vivente e i suoi organi sono oggetti che, diversamente dalle rocce, appaiono ricchissimi di scopi. Com'è noto, l'apparente finalismo del vivente ha permeato la classica argomentazione fondata sulla finalità invocata dai teologi da Tommaso d'Aquino a William Paley e dai moderni creazionisti «scientifici».

Ora conosciamo con certezza il vero processo attraverso cui alle ali, agli occhi, ai becchi, all'istinto di fare il nido e a ogni altra cosa della vita è stato illusoriamente attribuito un preciso disegno, mentre essi sono frutto della selezione naturale darwiniana. La nostra comprensione di questo processo è sorprendentemente recente, e risale agli ultimi centocinquant'anni circa. Prima di Darwin, anche le persone istruite che avevano accantonato i «Perché» riguardo alle rocce, ai [p. 100] ruscelli e alle eclissi continuavano implicitamente ad accettare la legittimità dello stesso tipo di interrogativo riguardo agli esseri viventi. Ora lo fanno solo le persone prive di cultura scientifica. Tuttavia è bene riconoscere che questo «solo» nasconde l'inaccettabile verità che stiamo continuando a parlare di una maggioranza assoluta.

In realtà, anche i darwinisti pongono un tipo di domanda in termini di «Perché» riguardo agli organismi viventi, ma lo fanno in un particolare senso metaforico. Perché gli uccelli cantano, e a che

cosa servono le ali? Interrogativi simili sarebbero accolti dai darwinisti odierni come una semplificazione per comodità di ragionamento e riceverebbero risposte sensate in termini di selezione naturale dei progenitori degli uccelli. L'illusione che vi sia uno scopo è così forte che gli stessi biologi si avvalgono dell'assunzione del buon progetto come strumento di lavoro. Come abbiamo visto nel capitolo precedente, molto prima del suo storico lavoro sulla danza delle api Karl von Frisch aveva scoperto che, contrariamente alla radicata opinione ortodossa, alcuni insetti sono in grado di percepire i colori. Egli aveva intrapreso i suoi esperimenti di immenso interesse stimolato dalla semplice osservazione che i fiori impollinati dalle api sembrano darsi un gran daffare per fabbricare pigmenti colorati. A quale scopo, se le api fossero cieche ai colori? La metafora dello scopo - o più precisamente, l'assunzione che la selezione naturale sia implicata nella soluzione di simili interrogativi - viene usata in questo caso per trarre un'importante deduzione. Von Frisch avrebbe sbagliato se avesse affermato: «I fiori sono colorati, quindi le api devono possedere la visione per i colori», ma avrebbe formulato la questione nei giusti termini se avesse detto: «I fiori sono colorati, quindi vale la pena di progettare nuovi esperimenti con cui verificare l'ipotesi che le api possiedano la visione per i colori». Ciò che egli accertò dopo avere approfondito la questione fu che le api hanno una buona visione per i colori ma lo spettro cui esse sono sensibili non coincide con il nostro. Esse sono cieche alla luce rossa, nel senso che potrebbero chiamare «infragiallo» ciò che noi definiamo rosso, ma possono vedere le lunghezze d'onda più corte che noi definiamo [p. 101] ultravioletto, e percepiscono l'ultravioletto come colore distinto, da taluni definito «vermiglio ape».

Quando si rese conto chi le api vedono la parte ultravioletta dello spettro, von Frisch proseguì nel suo ragionamento utilizzando la metafora dello scopo. A quale scopo, egli si domandò, le api impiegano la loro sensibilità all'ultravioletto? I suoi pensieri tornarono al punto di inizio, i fiori. Anche se non possiamo vedere la luce ultravioletta, sappiamo fabbricare pellicole fotografiche sensibili agli ultravioletti e filtri che lasciano passare la luce ultravioletta ma non quella che per noi è «visibile». Muovendo da questa considerazione von Frisch scattò alcune fotografie agli ultravioletti, che, con suo immenso piacere, mostrarono composizioni di macchie e strisce mai viste prima da occhi umani. Fiori che a noi appaiono bianchi o gialli sono in realtà ornati da disegni «ultravioletti» che spesso servono come percorso-guida seguendo il quale l'ape giunge al nettare. La politica di ipotizzare uno scopo si era dimostrata ancora una volta vincente: i fiori, se sono ben progettati, possono sfruttare la capacità dell'ape di vedere le

immagini ultraviolette.

Da anziano, von Frisch vide il suo più famoso lavoro - lo studio della danza delle api di cui abbiamo parlato nel capitolo precedente - messo in discussione dal biologo americano Adrian Wenner, ma fortunatamente visse abbastanza a lungo da poter assistere alla sua riabilitazione a opera di un altro americano, James L' Gould, ora a Princeton, autore di uno dei più brillanti esperimenti biologici mai concepiti. Vi racconterò brevemente la storia, che illustra bene il mio punto di vista sul potere dell'«assunzione del buon progetto».

Wenner e i suoi colleghi non negavano che le api danzassero, e non negavano nemmeno che la loro danza contenesse tutte le informazioni

indicate da von Frisch. Negavano invece che le altre api interpretassero la danza dell'esploratrice. Sì, diceva Wenner, è vero che la direzione del tratto rettilineo in relazione alla verticale, tracciato oscillando l'addome, rispecchia la direzione del cibo relativamente al sole, ma le altre api non ricevono queste informazioni dalla danza. E' vero che il ritmo o la frequenza di vari aspetti della danza possono essere letti come informazione sulla distanza del cibo, ma non [p. 102] vi sono prove sufficienti del fatto che le altre api siano in grado di interpretare l'indicazione. Può darsi che la ignorino. L'esperimento di von Frisch, sostenevano gli scettici, mostrava dei punti deboli, e quando essi lo avevano ripetuto con «controlli» appropriati (cioè tenendo conto dei mezzi alternativi attraverso cui le api avrebbero potuto trovare il cibo) l'ipotesi che la danza fosse una sorta di linguaggio non era stata confermata.

Fu a questo punto che Jim Gould entrò nella contesa con i suoi esperimenti squisitamente ingegnosi. Egli sfruttò una particolarità delle api nota da lungo tempo, che voi ricorderete dal capitolo precedente. Sebbene abitualmente danzino al buio utilizzando la direzione del tratto rettilineo tracciato sul piano verticale per indicare la direzione del sole sul piano orizzontale, se si accende una luce all'interno del favo esse passano senza difficoltà a una modalità di danza forse ancestrale. In questo caso dimenticano del tutto la gravità e utilizzano la lampadina al posto del sole per determinare direttamente l'angolo della danza. Per fortuna non sorgono inconvenienti quando la danzatrice passa dalla gravità alla lampadina. Le altre api che «interpretano» la danza compiono il medesimo passaggio, e la danza continua a farsi tramite degli stessi significati: le foraggiatrici continuano a uscire in cerca del nutrimento nella direzione indicata.

E ora esaminiamo il colpo magistrale messo a segno da Jim Gould. Egli spennellò gli occhi di una danzatrice con gommalacca nera, in modo che non potesse vedere la lampadina. Conseguentemente essa danzò utilizzando la consueta convenzione della gravità. Ma le altre api

che seguivano la sua danza, e che non erano state private della vista, potevano vedere la lampadina, e interpretarono la danza come se la convenzione della gravità fosse stata accantonata e sostituita da quella in cui la lampadina rappresentava il sole. Le foraggiatrici, dunque, misurarono l'angolo relativamente alla luce, mentre l'esploratrice danzava relativamente alla gravità. Gould, di fatto, stava costringendo la danzatrice a mentire sulla direzione della fonte trofica. Non a mentire genericamente, ma a mentire in quella particolare direzione che Gould aveva modificato con tanta perizia. Egli, ovviamente, [p. 103] compì l'esperimento non con una sola ape privata della vista ma con un valido campione statistico sia di api sia di angolazioni. E l'esperimento funzionò. L'ipotesi originariamente avanzata da von Frisch, che aveva interpretato la danza come un linguaggio, era stata trionfalmente confermata.

Ho raccontato questa storia non senza ragione. Desideravo mettere in evidenza gli aspetti sia negativi sia positivi dell'assunto del buon progetto. La prima volta che lessi l'articolo in cui Wenner e collaboratori esponevano i loro motivi di scetticismo, i miei commenti furono apertamente derisori. Ora mi rendo conto della scorrettezza di questo atteggiamento, anche se alla fine risultò evidente che Wenner aveva torto. I miei commenti sarcastici si basavano interamente sull'assunto del buon progetto. Wenner, dopo tutto, non negava che la danza venisse eseguita, e non negava nemmeno

che essa contenesse tutte le informazioni sulla distanza e la direzione della fonte trofica che von Frisch le aveva attribuito. Egli si era limitato a negare che le altre api interpretassero le informazioni. E questo era stato troppo per me come per altri biologi darwinisti. La danza era così complessa, così dettagliatamente organizzata, così mirabilmente adatta all'apparente scopo di informare le altre api sulla fonte di nutrimento. Una simile sintonia non poteva essere frutto, secondo noi, che della selezione naturale. In un certo senso eravamo caduti nello stesso tranello in cui erano scivolati i creazionisti nel contemplare le meraviglie della vita. La danza doveva avere un'utilità, e presumibilmente questa consisteva nell'aiutare le foraggiatrici a localizzare il cibo. Inoltre anche quei suoi stessi aspetti che apparivano così finemente calibrati - il rapporto dell'angolo e della rapidità con la direzione e la distanza del luogo di approvvigionamento - dovevano avere una loro utilità. Conseguentemente, dal nostro punto di vista, Wenner si sbagliava. Di ciò ero così convinto che anche se fossi stato tanto ingegnoso da concepire l'esperimento con l'ape privata della vista ideato da Gould (e certamente non lo fui), non mi sarei nemmeno dato la pena di realizzarlo.

Gould, al contrario, non solo fu abbastanza ingegnoso da idearlo, ma si diede anche la pena di realizzarlo, proprio perché non era

stato sedotto dall'assunto del buon progetto. Ma [p. 104] qui è molto facile compiere un passo falso perché sospetto che Gould - al pari di von Frisch prima di lui, nella sua ricerca sul colore - avesse in mente questa assunzione in misura tale da ritenere che il suo notevole esperimento avesse una certa probabilità di successo e

quindi meritasse l'investimento di tempo e di energie che sarebbe costato.

Ora vorrei introdurre due concetti tecnici: la «progettazione inversa» e la «funzione di utilità». Per quanto riguarda le opinioni esposte in questa sezione, sono stato influenzato dal superbo libro di Daniel Dennett intitolato Darwin's Dangerous Idea. La progettazione inversa è un tipo di ragionamento che funziona nel modo seguente. Sei un ingegnere, e ti trovi dinanzi a un manufatto che hai trovato e che non comprendi. Presupponi, come ipotesi di lavoro, che il manufatto sia stato concepito per uno scopo. Sezioni e analizzi l'oggetto per scoprire quale problema potrebbe risolvere: «Se volessi costruire una macchina che facesse la tal cosa, la farei così? Oppure questo oggetto sarebbe meglio spiegato come macchina destinata a fare quell'altra cosa?».

Il regolo calcolatore, che fino a poco tempo fa accompagnava come un talismano tutti coloro che avevano intrapreso l'onorevole professione dell'ingegnere, nell'èra dell'elettronica è antiquato quanto un reperto dell'Età del bronzo. Un archeologo del futuro, trovandolo e domandandosi quale fosse la sua funzione, potrebbe osservare che esso si presta a tracciare linee diritte e a spalmare il burro sul pane. Ma presumere che una di queste possibilità rispecchi la funzione originaria non è economico. Un semplice oggetto per tracciare linee diritte o un coltello da burro non necessitano di un cursore nella parte mediana. Inoltre se si esaminano gli intervalli fra i punti di riferimento si individuano precise scale logaritmiche, troppo meticolosamente disposte per essere accidentali. All'archeologo potrebbe venire in mente che in un'età anteriore ai calcolatori elettronici questo oggetto era forse un ingegnoso strumento per eseguire rapidamente moltiplicazioni e divisioni. Il mistero del regolo verrebbe quindi risolto con un ragionamento di

progettazione inversa fondato sull'assunzione che l'oggetto fosse stato progettato in modo intelligente ed economico.

[p. 105] «Funzione di utilità» è una locuzione tecnica non dell'ingegneria ma dell'economia, e significa «ciò che è massimizzato». Il lavoro dei pianificatori economici e sociali è simile a quello degli architetti e degli ingegneri nel senso che tutti si adoperano per la massimizzazione di qualcosa. L'obiettivo degli utilitaristi è «la massima felicità per il massimo numero di persone» (che tra l'altro è una frase apparentemente molto più intelligente di quanto lo sia in realtà). Sotto questo ombrello

[PAGINA 75]

l'utilitarista può attribuire alla stabilità a lungo termine una priorità maggiore o minore a spese della felicità a breve termine. Inoltre, a che cosa la «felicità» debba essere commisurata è un motivo di disaccordo fra gli utilitaristi: alla ricchezza economica, alle soddisfazioni professionali, all'appagamento intellettuale o ai rapporti personali? Altri, per loro stessa ammissione, massimizzano la propria felicità personale a spese del bene comune, e può accadere che tentino di rivestire di dignità il proprio egoismo argomentando che la felicità generale verrà massimizzata se ciascuno si prende cura di sé. Osservando il comportamento di singoli individui nell'arco di tutta la vita, dovremmo essere in grado di applicare il concetto di progettazione inversa alle loro funzioni di utilità. Se si compie questa operazione riferendola al comportamento del governo di un paese si potrebbe concludere che ciò che viene massimizzato sono l'occupazione e il benessere generale. Analizzando un altro paese, invece, la funzione di utilità potrà indicare che vengono massimizzati il mantenimento al potere del presidente, il benessere

di una particolare famiglia dominante, la dimensione dell'harem del sultano, la stabilità in Medio Oriente o il prezzo del petrolio. L'importante è che sia possibile immaginare più di una funzione di utilità. Non sempre è evidente che cosa gli individui, o le aziende, o i governi, si stanno adoperando per massimizzare. Ma è probabilmente corretto assumere che essi stiano massimizzando qualcosa. Questo accade perché Homo sapiens è una specie ossessionata dall'idea dello scopo. Il principio continua a essere valido anche quando la funzione di utilità sia una somma ponderata o qualche altra complessa funzione che tiene conto di numerose variabili.

Ora torniamo agli organismi viventi e cerchiamo di ricavare [p. 106] la loro funzione di utilità. Potrebbero esservene molte ma, e ciò è rivelatore, alla fine si ridurranno a una sola. Un buon modo per rappresentare efficacemente il nostro compito è immaginare che le creature viventi siano opera di un Artefice divino, e tentare, applicando la progettazione inversa, di comprendere che cosa l'Artefice abbia voluto massimizzare. Qual era la funzione di utilità di Dio?

Il ghepardo indica in ogni dettaglio di essere stato superbamente progettato per qualche scopo, e dovrebbe essere abbastanza facile studiarlo applicando la progettazione inversa per comprendere la sua funzione di utilità. Il ghepardo sembra fatto apposta per uccidere la gazzella. I denti, gli artigli, gli occhi, il naso, la muscolatura degli arti, la colonna vertebrale e il cervello di questo predatore sono tutti come potremmo aspettarci se lo scopo di Dio nel progettarlo fosse stato quello di massimizzare le morti fra le gazzelle. Ma se applichiamo la progettazione inversa allo studio della gazzella troviamo evidenze ugualmente impressionanti dello

scopo diametralmente opposto: la sopravvivenza delle gazzelle e la morte dei ghepardi per fame. E' come se il ghepardo fosse stato progettato da una divinità e la gazzella da una divinità rivale. In alternativa, se vi è un solo Creatore che ha fatto la tigre e l'agnello, il ghepardo e la gazzella, qual è il Suo gioco? E' un sadico che si diverte ad assistere a spettacoli cruenti? Cerca di scongiurare la sovrappopolazione fra i mammiferi africani? Oppure ha interesse a mantenere alta l'audience dei documentari naturalistici di David Attenborough? Tutte queste supposizioni sono funzioni di utilità del tutto plausibili. All'atto pratico, ovviamente, sono del tutto false. Ormai abbiamo compreso dettagliatamente la funzione di utilità della vita, che non corrisponde ad alcuna di quelle ipotizzate.

Il Capitolo 1 dovrebbe aver preparato il lettore all'interpretazione secondo cui la vera funzione di utilità della vita, ciò che viene massimizzato nel mondo naturale, è la sopravvivenza del dna. Ma il dna non fluttua liberamente, bensì è racchiuso in corpi viventi e deve utilizzare al meglio i punti di forza di cui dispone. Le sequenze di dna che si trovano nel corpo del ghepardo massimizzano la propria sopravvivenza facendo sì che quel corpo uccida la gazzella. E le sequenze [p. 107] che si trovano nel corpo della gazzella massimizzano la propria sopravvivenza perseguendo lo scopo di sfuggire al ghepardo. Ma in entrambi i casi quella che viene massimizzata è la sopravvivenza del dna. Nel presente capitolo mi riprometto di applicare il principio della progettazione inversa a un certo numero di esempi pratici e di dimostrare come ogni cosa abbia senso quando si presuma che ciò che viene massimizzato è la sopravvivenza del dna.

La proporzione fra i sessi - cioè il rapporto fra il numero dei

maschi e quello delle femmine - nelle popolazioni che vivono allo stato selvaggio è di 50|50. Dal punto di vista economico, ciò non sembra avere senso nelle numerose specie in cui una minoranza di maschi ha il monopolio delle femmine attraverso il sistema dell'harem. In una popolazione ampiamente studiata di foche elefantine, il 4 per cento dei maschi era responsabile dell'88 per cento delle copulazioni. Tralasciamo il fatto che in questo caso la funzione di utilità di Dio appare nettamente a sfavore della maggioranza di scapoli. La cosa peggiore è che una divinità efficiente e incline all'economia dovrebbe necessariamente giungere alla conclusione che il 96 per cento dei maschi, escluso dagli accoppiamenti, consuma la metà delle risorse alimentari della popolazione (anzi, più della metà, perché il maschio adulto di foca elefantina ha una mole corporea molto superiore a quella della femmina). I maschi in sovrappiù non fanno altro che attendere l'occasione buona per poter scacciare uno dei fortunati padroni

[PAGINA 77]
dell'harem, che formano il 4 per cento della popolazione maschile. Come può essere giustificata l'esistenza di questo gruppo di scapoli assatanati? Qualsiasi funzione di utilità che tenesse anche in poco conto l'efficienza economica della comunità indicherebbe subito che questa deve fare a meno degli scapoli, e deve far nascere il numero di maschi appena sufficiente a fecondare le femmine. Ma anche questa apparente anomalia viene spiegata con elegante semplicità quando si sia compresa la vera funzione di utilità in senso darwiniano: la massimizzazione della sopravvivenza del dna.

Scenderò nei dettagli dell'esempio imperniato sulla proporzione fra i sessi perché la sua funzione di utilità si presta [p. 108]

sottilmente a essere analizzata sotto l'aspetto economico. Charles Darwin si riconobbe piuttosto confuso a questo proposito: «Un tempo ritenevo che quando una tendenza a produrre i due sessi in numero eguale era vantaggiosa per la specie, essa fosse opera della selezione naturale, ma ora vedo che l'intero problema è così intricato che è meglio rimandare la sua soluzione al futuro». Come spesso accade, il futuro si presentò nella persona del grande Sir Ronald Fisher, che fece il seguente ragionamento.

Tutti gli individui nati hanno esattamente una madre e un padre. Quindi il successo riproduttivo totale - misurato in discendenti distanti - di tutti i maschi viventi deve essere uguale a quello di tutte le femmine viventi. Non intendo il successo di ciascun maschio e di ciascuna femmina, perché è evidente, ma anche importante, che alcuni abbiano maggiore successo di altri. Ciò che intendo è la totalità dei maschi confrontata con la totalità delle femmine. Questa posterità totale deve essere divisa fra i singoli maschi e le singole femmine: non divisa in parti uguali, ma divisa. La torta riproduttiva da dividere fra tutti i maschi è uguale a quella da dividere fra tutte le femmine. Quindi se nella popolazione vi sono, poniamo, più maschi che femmine, la fetta media che toccherà a ciascun maschio sarà più piccola di quella che toccherà a ciascuna femmina. Ne segue che il successo riproduttivo medio (cioè il numero atteso di discendenti) di un maschio confrontato con il successo riproduttivo medio di una femmina è determinato unicamente dalla proporzione maschio-femmina. Un membro medio del sesso di minoranza ha un successo riproduttivo maggiore di un membro medio del sesso di maggioranza. Solo se la proporzione fra i sessi è pari, e quindi non esiste una minoranza, i due sessi avranno il medesimo successo riproduttivo. Questa conclusione notevole nella sua semplicità è tratta con un ragionamento teorico e non dipende da alcun dato empirico, se si

eccettua il dato fondamentale che tutti i bambini nati hanno un padre e una madre.

Solitamente il sesso è determinato al concepimento, dunque potremmo presumere che un individuo non abbia alcun potere di influire sul

[PAGINA 78]

sesso del figlio o della figlia (una volta [p. 109] tanto la specificazione non è di rito ma necessaria). Seguendo il ragionamento di Fisher presumiamo che un genitore possa avere il potere di determinare il sesso della sua prole. Quando dico «potere», ovviamente non intendo un potere esercitato consciamente o deliberatamente: una madre, ad esempio, potrebbe avere una predisposizione genetica per una chimica vaginale lievemente sfavorevole allo sperma produttore di maschi ma non allo sperma produttore di femmine; oppure un padre potrebbe avere una tendenza genetica a produrre una maggiore quantità di sperma che potrebbe dare luogo a una femmina e una minore quantità di sperma che potrebbe dare luogo a un maschio. Comunque ciò possa realizzarsi in pratica, provate a immaginare voi stessi come un genitore che tenti di decidere se avere un maschio o una femmina. Anche in questo caso, non stiamo parlando di decisioni consce ma della selezione di generazioni di geni che agiscono sui corpi per influenzare il sesso della prole.

Se cercaste di massimizzare il numero dei vostri discendenti, vi converrebbe di più avere un maschio o una femmina? Come abbiamo già visto, vi converrebbe avere una prole del sesso di minoranza nell'ambito della popolazione, qualunque esso sia. In questo modo, la vostra prole può aspettarsi una quota di attività riproduttiva relativamente grande e voi potete aspettarvi un numero di pronipoti relativamente alto. Se non vi è un sesso più raro dell'altro - se, in

altri termini, la proporzione è già 50|50 - la preferenza per un sesso o per l'altro non vi porterà alcun vantaggio, e avere un maschio o una femmina non farà differenza. Dunque, la proporzione di 50|50 fra i sessi, secondo la definizione coniata dal grande evoluzionista britannico John Maynard Smith, è evolutivamente stabile. Solo se la proporzione è diversa da 50|50 vi sarà un vantaggio nell'optare per un sesso piuttosto che per l'altro. Quanto al perché gli individui dovrebbero cercare di massimizzare il numero dei pronipoti e dei successivi discendenti, forse non vale nemmeno la pena di porsi la domanda. I geni che permettono all'individuo di massimizzare i propri discendenti sono quegli stessi che ci aspettiamo di vedere nel mondo. Gli animali che osserviamo hanno ereditato i geni di progenitori che hanno avuto successo riproduttivo.

[p. 110] A questo punto potremmo provare la tentazione di formulare la teoria di Fisher affermando che 50|50 è la proporzione fra i sessi «ottimale», ma sarebbe una formulazione scorretta. La scelta ottimale è il sesso maschile se i maschi sono in minoranza, e femminile se le femmine sono in minoranza. Se nessuno dei due sessi è in minoranza non vi è optimum, e il genitore bene intenzionato sarà del tutto indifferente al sesso del nascituro. Si afferma dunque che 50|50 è la proporzione fra i sessi evolutivamente stabile perché la selezione

naturale non favorisce alcuna tendenza a deviare da tale proporzione, e perché, se qualche deviazione si verificasse, la selezione naturale favorirebbe la tendenza al ripristino dell'equilibrio.

Fisher, inoltre, comprese che ciò che viene mantenuto nella proporzione di 50|50 dalla selezione naturale non è propriamente il

numero dei maschi e delle femmine, ma invece quello che egli definì l'«investimento parentale» rispettivamente nei maschi e nelle femmine. Per investimento parentale si intende tutto il cibo faticosamente procurato che sparisce nella bocca di un piccolo e tutto il tempo e le energie spesi nell'accudirlo, energie che si potrebbero dedicare ad altre attività, fra cui l'allevamento di un altro piccolo. Supponiamo, ad esempio, che in una particolare specie di foca la quantità di tempo e di energia necessaria per l'allevamento di un maschio sia doppia di quella necessaria per allevare una femmina. Una foca maschio ha una massa corporea talmente superiore a quella della femmina che una simile supposizione non appare incredibile (anche se, di fatto, probabilmente è inesatta). E ora riflettiamo sul possibile significato di una simile situazione. La reale scelta che si presenta al genitore non è «Sarebbe meglio avere un maschio o una femmina?» ma è «Sarebbe meglio avere un maschio o due femmine?». Ciò è dovuto al fatto che con il cibo e le energie necessari per allevare un maschio si potrebbero allevare due femmine. La proporzione fra i sessi evolutivamente stabile, misurata in numero di corpi, sarebbe quindi di due femmine per ciascun maschio. Ma misurata in termini di investimento parentale (in contrapposizione al criterio del numero degli individui) la proporzione fra i sessi evolutivamente stabile continua a essere 50|50. La teoria di Fisher sostiene l'equilibrio [p. 111] dell'investimento parentale fra i due sessi, che spesso si rivela sinonimo di equilibrio del numero degli individui dei due sessi.

Anche fra le foche, come abbiamo detto, sembra che la quantità di investimento parentale necessaria per allevare un maschio non sia sensibilmente diversa da quella necessaria per una femmina. Il processo di forte differenziazione di peso fra maschi e femmine si compie dopo la fine dell'investimento parentale. Quindi la decisione

che il genitore deve prendere continua a essere riassumibile nella domanda «Sarebbe meglio avere un maschio o una femmina?». Anche nel caso in cui il costo complessivo dell'allevamento di un maschio fino all'età adulta fosse notevolmente superiore a quello comportato dall'allevamento di una femmina, se il costo addizionale non è sostenuto da chi deve prendere la decisione (il genitore) esso non ha rilevanza per la teoria di Fisher.

La regola di Fisher continua a essere valida anche nei casi in cui un sesso sia caratterizzato da un tasso di mortalità più elevato. Supponiamo, per esempio, che i neonati maschi abbiano maggiori

probabilità di morire di quante ne abbiano le femmine. Se la proporzione fra i sessi al concepimento è di 50|50, il numero di maschi che riesce a raggiungere l'età adulta sarà inferiore a quello delle femmine. I maschi sarebbero dunque il sesso di minoranza, e noi potremmo ingenuamente aspettarci che la selezione naturale favorisse i genitori specializzati nel generare figli maschi. Anche Fisher condividerebbe questa aspettativa, ma solo fino a un certo punto, cioè fino a un limite ben preciso. Egli non si aspetterebbe che i genitori concepissero un surplus di figli maschi tale da compensare perfettamente la loro maggiore mortalità infantile e da ripristinare l'equilibrio numerico fra i sessi nell'ambito della popolazione feconda. Al contrario, la proporzione fra i sessi al concepimento dovrebbe essere leggermente a favore dei maschi, ma solo fino al punto in cui l'investimento totale nella prole di sesso maschile sia pari all'investimento nella prole di sesso femminile.

Ancora una volta, il modo più facile per condurre il ragionamento è mettersi al posto del genitore che deve prendere la decisione e

domandarsi: «Sarebbe meglio avere una femmina, [p. 112] che probabilmente sopravvivrebbe, o un maschio, che potrebbe morire durante l'infanzia?». La decisione di avere discendenti attraverso figli maschi comporta la probabilità di dover profondere maggiori risorse per un certo numero di maschi in più per sostituire quelli che moriranno. Ciascuno di quelli rimasti in vita, si può pensare, porta con sé lo spettro dei fratelli morti. Egli li porta con sé nel senso che la decisione di avere discendenza attraverso un figlio maschio comporta per il genitore un investimento addizionale a fondo perduto, un investimento che verrà sprecato nei maschi morti in giovane età. La regola di Fisher continua a dimostrarsi valida. La quantità totale di cibo ed energia investiti in figli maschi (compreso il nutrimento somministrato a quelli deceduti fino alla loro morte) sarà pari alla quantità complessiva di investimento nelle figlie femmine.

Ma che cosa succede se una più elevata mortalità maschile non si registra nell'infanzia ma dopo la fine dell'investimento parentale? Spesso questa è la situazione reale, perché i maschi adulti hanno molte occasioni di scontro fisico, e possono ferirsi reciprocamente. Anche questa circostanza condurrà a un surplus di femmine nell'ambito della popolazione feconda. Considerando questo mero fatto, quindi, sembrerebbero favoriti i genitori specializzati in figli maschi che trarrebbero vantaggio dalla rarità dei maschi nell'ambito della popolazione feconda. Ma riflettendo meglio ci si rende conto che questo ragionamento è sbagliato. La decisione che il genitore deve prendere è la seguente: «Sarebbe meglio avere un figlio maschio, che ha probabilità di morire in una battaglia dopo che avrò finito di allevarlo, ma che, se sopravvive, sarà il mezzo attraverso cui potrò

avere numerosissimi discendenti? Oppure sarebbe meglio avere una femmina, che mi renderebbe pressoché certo di avere un numero medio di discendenti?». Il numero di discendenti che ci si può aspettare di avere attraverso un figlio, dunque, continua a essere pari al numero di discendenti che possiamo aspettarci di avere attraverso una figlia. E il costo di produzione di un maschio continua a essere il costo del suo nutrimento e della sua protezione fino al momento in cui lascia il nido. La probabilità che poco dopo egli rimanga ucciso non cambia il risultato del calcolo.

[p. 113] In tutto questo ragionamento Fisher aveva presupposto che colui che doveva prendere le decisioni fosse il genitore. Le cose cambiano se a prendere le decisioni è qualcun altro. Supponiamo, per esempio, che un individuo possa influire sul proprio sesso. Anche in questo caso non intendo un'influenza conscia, ma ipotizzo l'esistenza di geni che, a determinate condizioni ambientali, indirizzano lo sviluppo dell'individuo verso un sesso o verso l'altro. Seguendo la nostra solita convenzione, per brevità mi esprimerò come se si trattasse di una scelta deliberata da parte dell'individuo, e in questo caso specifico come se l'individuo potesse scegliere consciamente il proprio sesso. Se le specie animali i cui maschi possiedono un harem - come la foca elefantina - avessero questo potere di effettuare scelte flessibili, l'effetto sarebbe drammatico. Gli individui aspirerebbero a essere maschi possessori di harem, ma se fallissero nell'acquisire un harem preferirebbero di gran lunga essere femmine piuttosto di rimanere maschi scapoli. La proporzione fra i sessi all'interno di una popolazione cambierebbe, e si registrerebbe una forte tendenza a favore delle femmine. Le foche elefantine, fortunatamente, non possono riconsiderare il sesso assegnato loro al concepimento, ma alcuni pesci lo fanno. I maschi di

una specie dei Labridi dal capo pigmentato di blu è di grossa taglia e ha colori brillanti, e possiede harem di femmine prive di colori. Alcune femmine sono più grandi di altre, e formano una gerarchia di dominanza. Se un maschio muore, il suo posto viene subito preso dalla femmina di taglia maggiore, che in breve tempo si trasforma in un maschio dai colori vivaci. Questo pesce fruisce del meglio di entrambi i mondi. Invece di sprecare la propria vita come scapoli, i maschi che attendono la morte del possessore di un harem trascorrono il tempo come femmine produttive. Il sistema di mantenimento della proporzione fra i sessi di questo pesce è raro, e in esso la funzione di utilità di Dio verrebbe definita «prudente» da un economista sociale.

Fino a questo punto abbiamo considerato come autore della decisione sia il genitore sia l'individuo stesso. Chi altri potrebbe essere? Fra gli insetti sociali le decisioni sull'investimento parentale sono prese prevalentemente dalle operaie [p. 114] sterili, che solitamente

[PAGINA 82]

sono le sorelle maggiori (e anche i fratelli, nel caso delle termiti) degli individui giovani che verranno allevati. Il più familiare fra gli insetti sociali è l'ape domestica. Se fra i miei lettori vi è qualche allevatore di api, probabilmente avrà già constatato che la proporzione fra i sessi nell'alveare non sembra corrispondere alle aspettative secondo la teoria di Fisher. La prima osservazione è che le operaie non dovrebbero essere comprese nel conteggio delle femmine. Tecnicamente lo sono, ma poiché non si riproducono, la proporzione fra i sessi prevedibile applicando la teoria di Fisher è in realtà la proporzione dei fuchi rispetto alle nuove regine che vengono prodotte dall'alveare. Nel caso delle api e delle formiche vi

sono particolari ragioni tecniche - che ho discusso in una mia opera precedente, Il gene egoista, e su cui ora non ritornerò - per aspettarsi una proporzione fra i sessi di 3|1 a favore delle femmine. Ben lontana da ciò, come ogni apicoltore sa bene, l'effettiva proporzione fra i sessi indica una netta prevalenza dei maschi. Nel corso di una stagione, un alveare in buone condizioni può produrre solo mezza dozzina di nuove regine e centinaia o addirittura migliaia di fuchi.

Che cosa succede in questo caso? Come spesso accade nella moderna teoria evoluzionistica, dobbiamo la risposta a W'D' Hamilton, che attualmente insegna alla Oxford University. La sua risposta è rivelatrice, e compendia l'intera teoria ispirata dal lavoro di Fisher sulla proporzione fra i sessi. La chiave dell'enigma sta nel curioso fenomeno della sciamatura. Un alveare è, sotto molti aspetti, come un singolo individuo che cresce fino al raggiungimento della maturità, si riproduce e muore. In termini riproduttivi, il prodotto di un alveare è lo sciame. In piena estate, quando un alveare è nel periodo di maggiore sviluppo, esso produce una colonia-figlia, lo sciame. Per un alveare, dare vita a uno sciame equivale a riprodursi. Se un alveare è una fabbrica, gli sciami - che recano i preziosi geni della colonia - sono il prodotto finito. Uno sciame comprende una regina e diverse migliaia di operaie. Tutte lasciano l'alveare parentale come un unico corpo e si riuniscono in un ammasso che pende da un ramo o da uno spuntone di roccia, che costituirà il temporaneo accampamento [p. 115] dello sciame mentre le api compiono ricognizioni del territorio in cerca di una nuova sistemazione permanente. In pochi giorni esse trovano una fenditura naturale o un albero cavo in cui stabilirsi (oppure, come quasi sempre accade oggi, vengono catturate da un apicoltore - che può anche essere il proprietario dell'alveare da cui lo sciame proviene - e alloggiate in

uno nuovo).

Un alveare prospero ha il compito di produrre sciami-figli, e il primo passo è dare vita a una nuova regina. Solitamente vengono prodotte circa sei nuove regine, ma una sola è destinata a vivere.

[PAGINA 83]

Alla schiusa, la prima nata uccide con il pungiglione tutte le altre. (Presumibilmente, è solo per sicurezza che vengono prodotte le regine in sovrappiù.) Le regine sono geneticamente intercambiabili con le operaie, ma vengono allevate in celle speciali che pendono al di sotto del favo e vengono nutrite con una dieta particolarmente ricca a base di pappa reale, la sostanza a cui la scrittrice Barbara Cartland, insignita dell'Ordine dell'Impero Britannico, attribuisce romanticamente la sua lunga vita e il suo portamento regale. Le api operaie vengono allevate in celle meno spaziose, che in seguito verranno impiegate per immagazzinare il miele. I fuchi sono geneticamente diversi perché provengono da uova non fecondate. E' interessante osservare come dipenda dalla regina che un uovo dia origine a un fuco o a una femmina (reginaìoperaia). Una regina si accoppia solo nel corso di un unico volo nuziale che compie all'inizio della sua vita da adulta, e conserva lo sperma all'interno del proprio corpo per tutto il resto della sua esistenza. A mano a mano che ciascun uovo passa attraverso l'ovidotto, essa può liberare, o meno, una piccola quantità di sperma che lo feconderà. Quindi è la regina a controllare la proporzione dei sessi fra le uova, ma successivamente saranno le operaie a detenere tutto il potere, poiché controllano la quantità di cibo con cui le larve vengono alimentate. Per esempio, se dal loro punto di vista la regina avesse deposto troppe uova maschili, le operaie potrebbero lasciar morire di fame la

larva che esse contengono. In ogni caso dipende da loro che da un uovo femminile nasca un'operaia o una regina, poiché la differenziazione è affidata [p. 116] unicamente alle condizioni in cui la larva viene allevata, e in particolar modo alla dieta.

E ora torniamo al nostro problema della proporzione fra i sessi e consideriamo la decisione che le operaie devono prendere. Come abbiamo visto, al contrario della regina esse non scelgono se produrre maschi o femmine ma solo se produrre fratelli (fuchi) o sorelle (giovani regine). Ma in che cosa consiste il problema? L'effettiva proporzione fra i sessi sembra essere fortemente a favore dei maschi, e ciò non appare sensato se dobbiamo basarci sulla teoria di Fisher. Ma consideriamo più attentamente la natura della decisione che le operaie devono prendere. Come ho detto prima, esse dovrebbero scegliere tra fratelli e sorelle. Un momento. La decisione di allevare un fratello significa semplicemente che l'alveare si impegna a fornire il cibo e le altre risorse necessarie per allevare un singolo fuco. La decisione di allevare una nuova regina, invece, impegna la comunità a molto di più delle risorse necessarie per nutrirla. La decisione di allevare una nuova regina equivale a impegnarsi a produrre un intero sciame. Nel costo reale di una nuova regina, la piccola quantità di pappa reale e di altro cibo con cui verrà alimentata è un elemento trascurabile, mentre il grande impegno

consiste nel dare vita a tutte le migliaia di operaie che la comunità perderà con la sciamatura.

Questa è quasi certamente la vera spiegazione della prevalenza maschile, apparentemente anomala, nella proporzione fra i sessi, e si rivela un esempio estremo di quanto avevo già esposto. Secondo la

regola di Fisher, è la quantità di investimento parentale nei maschi e nelle femmine che deve essere uguale, non il numero degli individui. La scelta di dar vita a una nuova regina comporta un massiccio investimento in operaie che altrimenti non avrebbero lasciato l'alveare. E' una situazione simile a quella della nostra ipotetica popolazione di foche, in cui allevare un piccolo di un sesso costa quanto allevare due piccoli dell'altro sesso, con il risultato che l'uno è numericamente la metà dell'altro. Nel caso delle api, una regina costa centinaia o addirittura migliaia di volte un fuco, poiché essa porta con sé il costo di tutte le operaie in più necessarie per la sciamatura. Ne consegue che le regine sono [p. 117] centinaia di volte meno numerose dei fuchi. Vi è un'ultima postilla a questa storia curiosa: misteriosamente, quando uno sciame se ne va, la vecchia regina, e non la nuova, lascia l'alveare, ma ciò non incide sull'economia della comunità. La decisione di dar vita a una nuova regina comporta comunque la produzione dello sciame necessario per scortare la precedente al suo nuovo nido.

Per concludere la nostra trattazione della proporzione fra i sessi torneremo sul problema degli harem con cui avevamo iniziato: quella libertina istituzione mediante la quale un gruppo di maschi scapoli consuma quasi la metà (o forse più) delle risorse alimentari di una popolazione senza mai riprodursi o fare qualcosa di utile. Ovviamente, il benessere economico della popolazione in questo caso non è massimizzato. Che cosa accade? Ancora una volta, mettetevi al posto di chi dovrà prendere le decisioni, per esempio di una madre che debba «decidere» se avere un maschio o una femmina per massimizzare il numero dei propri discendenti. Sulle prime, e con una certa ingenuità, saremmo portati a pensare che i termini del suo dilemma non siano equilibrati: «Dovrei avere un maschio, che probabilmente non riuscirà ad accoppiarsi e non mi darà nemmeno un

nipote, oppure una femmina, che probabilmente finirà in un harem e mi darà un rispettabile numero di nipoti?». La risposta appropriata all'interrogativo di questo futuro genitore è la seguente: «Se avrai un maschio, egli potrebbe entrare in possesso di un harem, e in quel caso ti darebbe un numero di nipoti molto superiore di quello che potresti sperare di avere attraverso una femmina». Supponiamo, per semplicità, che tutte le femmine si riproducano al tasso medio, e che nove maschi su dieci non si riproducano mai, mentre il decimo monopolizza tutte le femmine. Se hai una femmina, puoi contare su un numero medio di nipoti. Se hai un maschio, hai novanta probabilità su

cento di non avere nessun nipote, e dieci probabilità su cento di avere dieci volte il numero medio di nipoti. Il numero medio di nipoti che puoi aspettarti di avere attraverso figli maschi quindi è lo stesso che puoi aspettarti di avere attraverso figlie femmine. La selezione naturale continua a favorire una proporzione fra i sessi di 50|50, anche quando ragioni [p. 118] economiche a livello di specie favoriscono fortemente un surplus di femmine. E la regola di Fisher continua a funzionare.

Ho espresso tutti questi ragionamenti in termini di «decisioni» prese da singoli animali ma, come ho già detto, è solo un espediente per semplificare il discorso. Di fatto, i geni «per» massimizzare il numero di discendenti divengono più numerosi nel pool genico. Il mondo si arricchisce di geni che col trascorrere del tempo sono stati trasmessi con successo. E come un gene potrebbe essere trasmesso se non influenzando le decisioni degli individui in modo tale da massimizzare il numero dei loro discendenti? La teoria della proporzione fra i sessi di Fisher ci dice come questo processo - che è

ben diverso dalla massimizzazione del benessere economico della specie o della popolazione - dovrebbe svolgersi. Qui abbiamo una funzione di utilità, che tuttavia è ben diversa da quella che verrebbe immediatamente suggerita dalla mentalità economica dell'uomo.

La dispendiosità insita nell'economia dell'harem può essere riassunta come segue: i maschi, invece di dedicarsi a un'attività utile, sperperano le loro energie e la loro forza in futili scontri. Questo è vero, anche se usiamo l'aggettivo «utile» in senso palesemente darwiniano, cioè riferendolo all'allevamento della prole. Se i maschi indirizzassero verso attività utili l'energia che sprecano nella competizione reciproca, la specie nel suo insieme potrebbe allevare un numero maggiore di piccoli con minore fatica e minore consumo di cibo.

Un esperto di economia aziendale rimarrebbe inorridito studiando la società delle foche elefantine. Un esempio abbastanza calzante potrebbe essere il seguente. Un'officina, dotata di dieci torni, non necessita di più di dieci operai. Ma, invece di impiegarne dieci, l'amministrazione decide di assumerne cento. Tutti i giorni i cento operai si presentano e riscuotono la paga, poi trascorrono il resto della giornata lottando per impossessarsi dei dieci torni. Alcuni pezzi vengono prodotti con i torni, ma il loro numero non è superiore a quello che avrebbero prodotto dieci uomini; anzi, probabilmente è inferiore, perché i cento uomini sono così impegnati a lottare che i torni non vengono utilizzati pienamente. L'esperto di economia aziendale non avrebbe dubbi: il 90 [p. 119] per cento degli operai è in sovrappiù, ed essi dovrebbero essere licenziati.

Non è soltanto nei combattimenti fisici che i maschi sprecano le

loro energie (anche in questo caso, quello di «spreco» è un giudizio rispondente alla mentalità economica dell'uomo). In molte specie si compete in termini di bellezza, e ciò ci conduce a un'altra funzione di utilità che noi uomini possiamo apprezzare anche se non ha un significato economico immediato: l'estetica dell'individuo. A prima vista, è come applicare la funzione di utilità di Dio al rituale dell'elezione di Miss Universo (ora fortunatamente in disuso), ma con i maschi in passerella. Questo fenomeno è particolarmente evidente in uccelli come i tetraonidi e il combattente, che si esibiscono nell'«arena nuziale», un tratto di terreno tradizionalmente utilizzato dagli uccelli maschi per esibirsi di fronte alle femmine. Le femmine si avvicinano e osservano le esibizioni dei maschi, dopo di che ne scelgono uno e si accoppiano con quello. I maschi delle specie che hanno adottato questo sistema nuziale hanno spesso ornamenti bizzarri che esibiscono con peculiari movimenti - sobbalzi e inchini - e con strani rumori. L'aggettivo «bizzarro», ovviamente, esprime un giudizio soggettivo. Presumibilmente, le esibizioni del gallo della salvia, che gonfia ritmicamente i sacchi golari con un suono di «bottiglia stappata», sembrano tutt'altro che bizzarre alle femmine conspecifiche, e questo è ciò che conta. In alcuni casi il concetto di bellezza dal punto di vista di una femmina di uccello può coincidere con il nostro, e il risultato è il pavone o l'uccello del paradiso.

Il canto dell'usignolo, la coda del fagiano, il chiarore intermittente emanato dalle lucciole e i colori dell'arcobaleno che ornano alcune specie di pesci tropicali sono tutti espedienti per la massimizzazione della bellezza, ma questa bellezza non è, se non incidentalmente, per il diletto degli uomini. Se noi apprezziamo lo spettacolo è un sovrappiù, un effetto collaterale. I geni che rendono

i maschi attraenti per le femmine vengono automaticamente trasmessi lungo il fiume digitale agli individui futuri. Vi è un'unica funzione di utilità che conferisce senso a questa bellezza, ed è la stessa che spiega la proporzione fra i sessi nella foca elefantina, il ghepardo [p. 120] e la gazzella che competono nella corsa in modo apparentemente futile, il cuculo e i pidocchi, gli occhi, le orecchie e le trachee, le operaie sterili nelle colonie di formiche e le regine superfeconde. La grande funzione di utilità universale, la quantità che viene diligentemente massimizzata anche nei luoghi più riposti del mondo vivente è, in ogni caso, la sopravvivenza del dna responsabile per la caratteristica cui si sta cercando di dare una spiegazione.

Il pavone è a tal punto impedito e intralciato dai suoi splendidi orpelli che anche se provasse qualche inclinazione a fare qualcosa di utile, il che nel complesso non sembra, non potrebbe proprio. I maschi delle specie canore trascorrono pericolose quantità di tempo

cantando. Ciò mette a repentaglio la loro vita non soltanto perché attrae i predatori, ma perché assorbe sia le loro energie sia il tempo che gli uccelli potrebbero dedicare al loro recupero. Un ricercatore specializzato nello studio dello scricciolo ha osservato in natura un maschio che aveva cantato letteralmente fino a morire. Qualsiasi funzione di utilità che avesse a cuore il benessere a lungo termine della specie, o addirittura la sopravvivenza a lungo termine di questo particolare maschio, avrebbe diminuito la quantità di canto, la quantità di esibizioni, la quantità di lotte fra maschi. Ciononostante, poiché quella che in realtà viene massimizzata è la sopravvivenza del patrimonio genetico, nulla può fermare la

diffusione di dna il cui unico effetto benefico è rendere i maschi più belli agli occhi delle femmine. La bellezza non è un valore assoluto in sé, ma inevitabilmente, se alcuni geni conferiscono ai maschi le qualità che le femmine della specie trovano desiderabili, quei geni sopravvivranno comunque. (continua)

[PAGINA 88]

)))))

[p. 120] 4.
La funzione
di utilità di Dio
(continuazione)

Perché gli alberi della foresta sono così alti? Per superare la cima degli alberi rivali. Una funzione di utilità «sensata» farebbe in modo che tutti fossero bassi. Essi riceverebbero esattamente la stessa quantità di luce solare sostenendo un inferiore investimento energetico in grossi tronchi e robuste strutture di sostegno. Ma se tutti gli alberi fossero bassi, la selezione naturale non potrebbe

[PAGINA 89]
fare a meno di favorire una variante individuale che crescesse un po' di più. Alzata la posta, gli altri giocatori dovrebbero fare altrettanto, e nulla potrebbe [p. 121] fermare un aumento progressivo fino al punto in cui tutti gli alberi fossero ridicolmente e inutilmente alti. Ma «ridicolo» e «inutilità» sono giudizi dal punto di vista di un razionale pianificatore economico che pensa in termini

di massimizzazione dell'efficienza. Tuttavia, ogni cosa acquista senso quando si comprenda la vera funzione di utilità: i geni massimizzano la propria sopravvivenza. Le analogie a portata di mano abbondano. A un cocktail party la gente vocia tanto da diventare rauca. La ragione è che tutti parlano a voce alta. Se gli ospiti si mettessero d'accordo per sussurrare, si udirebbero l'un l'altro altrettanto bene risparmiando le corde vocali e un bel po' di energie. Ma accordi di questo genere non funzionano a meno che non vi sia chi li fa rispettare. C'è sempre qualcuno che rovina tutto per egoismo, alzando la voce anche di poco, e a uno a uno tutti lo seguono. Uno stabile equilibrio viene raggiunto solo quando ciascuno grida più forte che può, cioè molto più forte di quanto giudicato necessario da un punto di vista razionale. Di tanto in tanto, l'accordo di autolimitazione viene messo a repentaglio dalla sua stessa instabilità interna. Raramente la funzione di utilità di Dio si rivela come il massimo beneficio per il massimo numero di individui. Essa tradisce le sue origini, radicate nella lotta senza quartiere per un egoistico guadagno.

L'uomo ha una tendenza piuttosto ottimistica a presumere che benessere significhi benessere del gruppo e che il bene sia il bene sociale, la prosperità futura della specie o addirittura dell'ecosistema. La funzione di utilità di Dio, così come viene derivata dalla contemplazione della bulloneria che tiene insieme i meccanismi della selezione naturale, si rivela tristemente contrastante con una simile visione utopica. Di certo vi sono occasioni in cui i geni possono massimizzare il proprio egoistico benessere programmando una cooperazione non egoistica, o addirittura l'abnegazione, da parte dell'organismo. Ma il benessere del gruppo è sempre una conseguenza fortuita, non una motivazione primaria. Questo è il significato del «gene egoista».

Vediamo un altro aspetto della funzione di utilità di Dio iniziando con un'analogia. Lo psicologo darwinista Nicholas Humphrey ha raccontato un aneddoto che la dice lunga su [p. 122] Henry Ford. Si dice che Ford, il santo patrono dell'efficientismo industriale, un giorno

«commissionò un'indagine fra i demolitori americani per sapere se vi erano parti della Ford T che non si rompevano mai. I suoi ispettori tornarono con rapporti su quasi ogni genere di deterioramento: assali, freni, pistoni, tutto era soggetto a

guastarsi. Ma essi segnalarono una notevole eccezione: tutti i perni del fuso a snodo delle auto rottamate avrebbero potuto andare avanti ancora per anni. Con logica spietata Ford concluse che i perni del fuso a snodo del modello T erano troppo robusti per la loro funzione, e ordinò che in futuro la loro qualità venisse abbassata.»

Forse né voi né io abbiamo le idee molto chiare su che cosa siano i perni del fuso a snodo, ma questo non ha importanza. In un'auto sono necessari, e la presunta spietatezza di Ford era in realtà del tutto logica. L'alternativa sarebbe stata il miglioramento di tutti gli altri componenti dell'auto per portarli al livello qualitativo dei perni. Ma in quel caso l'auto in costruzione non sarebbe più stata un modello T bensì una Rolls-Royce, il che non era negli scopi dell'indagine. La Rolls-Royce e la Ford T sono auto entrambe rispettabili, ma il loro prezzo è diverso. L'abilità consiste nell'essere certi che tutta la macchina sia costruita rispettando o il livello qualitativo della Rolls-Royce o quello della Ford T. Se si fabbrica un'auto ibrida, con alcuni componenti di livello pari a quelli della Ford T e altri componenti pari a quelli della

Rolls-Royce, si ottiene il peggio dei due modelli, poiché l'auto verrà rottamata quando il più debole dei suoi componenti si guasterà, e il denaro speso nei componenti di qualità migliore che non si guastano mai sarà denaro sprecato.

La lezione di Ford si applica ancor meglio ai corpi viventi, perché i componenti di un'auto possono essere sostituiti con pezzi di ricambio, almeno entro certi limiti. Scimmie arboricole e gibboni vivono in cima agli alberi, e corrono costantemente il rischio di cadere e di rompersi le ossa. Supponiamo di commissionare uno studio dei cadaveri delle scimmie per sapere la frequenza con cui le più importanti ossa del corpo si spezzano. Supponiamo di scoprire che prima o poi tutte le [p. 123] ossa finiscono per spezzarsi, eccetto uno: il perone (l'osso laterale della gamba), la cui frattura non è mai stata osservata in alcuna scimmia. Henry Ford non esiterebbe a proporre di progettare il perone rendendolo meno robusto, e questo è esattamente ciò che anche la selezione naturale farebbe. Gli individui mutanti con un perone qualitativamente inferiore - mutanti le cui regole di crescita sottraggono del prezioso calcio al perone - potrebbero utilizzare il materiale risparmiato per irrobustire altre ossa del corpo raggiungendo l'ideale di livellare le probabilità di ciascun osso di spezzarsi. Oppure, gli individui mutanti potrebbero utilizzare il calcio risparmiato per secernere più latte e allevare un maggior numero di piccoli. Il perone può essere assottigliato senza rischi, almeno fino al punto in cui ha probabilità di spezzarsi tanto quanto l'osso immediatamente successivo in robustezza. L'alternativa - la soluzione tipo Rolls-Royce, quella di innalzare tutti gli altri componenti al livello qualitativo del perone - è più

difficile da raggiungere.

Il calcolo non è così semplice, perché alcune ossa sono più importanti di altre. Ritengo che per una scimmia ragno sia più facile sopravvivere con un calcagno fratturato piuttosto che con un braccio fratturato, perciò non dobbiamo aspettarci che per selezione naturale tutte le ossa abbiano le stesse probabilità di spezzarsi. Ma l'essenza della lezione che possiamo trarre dall'aneddoto su Henry Ford è indubbiamente corretta. E' possibile che un componente di un animale sia troppo robusto, e dobbiamo aspettarci che la selezione naturale favorisca una diminuzione della qualità fino, ma non oltre, al punto di equilibrio qualitativo di questo componente con gli altri. Più precisamente, la selezione naturale favorirà un livellamento di qualità sia verso l'alto che verso il basso, fino a quando tutte le parti del corpo abbiano raggiunto l'equilibrio.

E' particolarmente facile apprezzare questo equilibrio quando viene raggiunto da due aspetti della vita separati: la sopravvivenza del pavone contrapposta alla sua bellezza agli occhi della femmina, per esempio. La teoria darwiniana ci dice che tutto ciò che sopravvive è solo un mezzo che serve il fine della propagazione dei geni, ma questo non ci vieta di [p. 124] suddividere il corpo in quei componenti, come le gambe, che sono particolarmente implicati nella sopravvivenza dell'individuo e in quelli, come il pene, che sono implicati nella riproduzione. E poi vi sono ancora quei componenti, come le corna a palco nei cervidi, che hanno come unica funzione la competizione dell'animale con i rivali, in contrapposizione con quelle parti, come le gambe e il pene, la cui importanza non è correlata all'esistenza di rivali. Numerosi insetti sono caratterizzati da una rigida separazione fra stadi radicalmente diversi della loro vita. I bruchi non fanno altro che nutrirsi e crescere. Le farfalle sono simili ai fiori su cui si posano nel senso

che le une e gli altri sono votati alla riproduzione. Le farfalle non crescono, e suggono il nettare solo per bruciarlo immediatamente come se fosse benzina avio. Quando una farfalla si riproduce, essa trasmette i propri geni non solo in quanto farfalla efficiente nel volo e nella riproduzione, ma anche in quanto bruco efficiente nell'alimentarsi. I maggiolini si cibano e crescono nell'acqua allo stadio di ninfa per più di tre anni. Poi emergono in forma di adulto in grado di volare e vivono solo poche ore. Molti sono divorati dai pesci, ma anche se non lo fossero morirebbero in breve tempo perché, non possedendo l'intestino, non sono in grado di alimentarsi (a Henry Ford sarebbero piaciuti molto). Il loro compito è di volare fino a quando trovano un compagno. Poi, avendo trasmesso i propri geni - compresi quelli necessari per essere un'efficiente ninfa capace di nutrirsi in acqua per tre anni - muoiono. Un maggiolino è come un vegetale che impiega anni a crescere, poi fiorisce in un unico giorno

di gloria e muore. Il maggiolino adulto è il fiore effimero che sboccia al termine di una vita e all'inizio di una nuova.

Un giovane salmone migra seguendo la corrente del fiume in cui è nato e trascorre gran parte della vita nutrendosi e crescendo in mare. Quando raggiunge la maturità cerca, probabilmente con l'olfatto, la foce del fiume natio. In un epico e celebratissimo viaggio il salmone risale la corrente, supera con grandi balzi cascate e rapide e torna alle acque dolci originarie, dove si accoppia dando inizio a un nuovo ciclo vitale. A questo punto è stata osservata una differenza tipica fra il salmone dell'Atlantico e quello del Pacifico. Il primo, dopo [p. 125] essersi riprodotto, può far ritorno al mare con qualche speranza di ripetere il ciclo una

seconda volta. Il secondo muore, sfinito, pochi giorni dopo essersi riprodotto.

Un tipico salmone del Pacifico è come un maggiolino, ma privo della precisa separazione anatomica fra lo stadio di ninfa e quello di individuo adulto. Lo sforzo di nuotare controcorrente è così grande che il salmone non può sostenerlo due volte. Quindi la selezione naturale favorisce i salmoni che puntano ogni grammo delle loro risorse in una sorta di big bang riproduttivo. Le risorse rimaste dopo l'accoppiamento andrebbero sprecate, perché sarebbero l'equivalente dei perni troppo robusti di Henry Ford. Il salmone del Pacifico si è evoluto in modo tale da ridurre la propria sopravvivenza postriproduttiva fino a quando si avvicina a zero, poiché le risorse risparmiate vengono convertite in uova o in liquido seminale. Il salmone dell'Atlantico, invece, è stato indirizzato dalla selezione naturale in direzione opposta. Forse perché i fiumi che deve risalire sono più brevi e scaturiscono da alture meno scoscese, gli individui cui rimane un po' di forza per un secondo ciclo riproduttivo talvolta riescono a compiere l'impresa. Il prezzo pagato dal salmone dell'Atlantico è di non potersi interamente dedicare alla riproduzione. Vi è una sorta di interscambio fra longevità e riproduzione, e differenti specie di salmone hanno optato per differenti equilibri. La caratteristica particolare del ciclo vitale del salmone è che l'estenuante odissea della sua migrazione impone una discontinuità. Non vi è un facile continuum fra una e due stagioni riproduttive. Portarne a termine due diminuisce drasticamente l'efficienza nel corso della prima. Il salmone del Pacifico si è evoluto verso un indubbio impegno nella prima stagione, con il risultato che un individuo tipico muore immediatamente dopo il suo singolo, titanico sforzo riproduttivo.

Lo stesso tipo di interscambio segna ciascuna vita, ma solitamente è

meno drammatico. La nostra stessa morte è probabilmente programmata analogamente a quella del salmone, ma in modo meno immediato e preciso. Non vi è dubbio che un eugenista potrebbe creare una razza

[PAGINA 93]
di uomini superlativamente longevi. Come capostipiti verrebbero scelti gli individui [p. 126] che investono la gran parte delle risorse nel proprio corpo a spese dei figli: gli individui, per esempio, le cui ossa sono robuste e non soggette a spezzarsi, ma a cui rimane poco calcio per secernere latte. E' abbastanza facile vivere un po' più a lungo, se ci si risparmia a spese della generazione successiva. L'eugenista potrebbe realizzare questo risparmio e sfruttare l'interscambio per lo scopo desiderato, la longevità. La natura non risparmia gli individui in questo modo, perché i geni che inducono l'individuo a economizzare a spese della generazione successiva non si trasmetteranno alle generazioni future.

La funzione di utilità della natura non dà mai valore alla longevità per se stessa ma solo a vantaggio della riproduzione futura. Qualsiasi animale che, come noi ma diversamente dal salmone del Pacifico, si riproduca più di una volta si trova a dover scegliere fra il piccolo (o i piccoli) attuale e quelli futuri. Una femmina di coniglio che abbia dedicato tutte le proprie energie e risorse alla prima figliata avrà probabilmente una prima figliata di qualità superiore. Ma non le resterebbero risorse per arrivare alla seconda. I geni per il risparmio di energie tenderanno a diffondersi attraverso la popolazione di conigli, racchiusi nei corpi dei piccoli della seconda e della terza figliata. Sono i geni di questo tipo quelli che così macroscopicamente non si erano diffusi fra la

popolazione del salmone del Pacifico, perché la discontinuità pratica fra una e due stagioni riproduttive è troppo grande.

Invecchiando, le nostre probabilità di morire entro un anno, dopo essere inizialmente decresciute e poi essersi stabilizzate su un valore costante per un certo periodo, assumono un andamento costantemente crescente. Che cosa accade in questo lungo periodo di aumento della mortalità? Fondamentalmente è lo stesso principio valido per il salmone del Pacifico, ma l'aumento si protrae a lungo invece di essere concentrato in una breve orgia di morte dopo una breve orgia riproduttiva. Il principio evolutivo della senescenza venne originariamente sviluppato dal medico e Premio Nobel Sir Peter Medawar all'inizio degli anni Cinquanta, che apportò varie modifiche alle basi concettuali gettate da due darwinisti di valore, G'C' Williams e W'D' Hamilton.

[p. 127] Il punto essenziale è il seguente. Innanzitutto, come abbiamo visto nel Capitolo 1, qualsiasi effetto genetico viene attivato in un momento particolare nel corso della vita di un organismo. Numerosi geni vengono attivati all'inizio dello sviluppo embrionale, ma altri - come quello responsabile per la corea di Huntington, la malattia che provocò la tragica scomparsa del poeta e cantante folk Woody Guthrie - non vengono attivati fino al

raggiungimento della mezza età. In secondo luogo, i dettagli di un effetto genetico, compreso il momento in cui verrà attivato, possono essere modificati da altri geni. Un uomo che ha il gene per la corea di Huntington può aspettarsi di morire in seguito a questa malattia, ma se la morte arriverà a quarant'anni o a cinquantacinque (come accadde a Woody Guthrie) può dipendere dall'influenza esercitata da

altri geni. Ne segue che per selezione dei geni «modificatori» il momento in cui un particolare gene si attiverà può essere posticipato o anticipato nel corso dell'evoluzione.

Un gene come quello per la corea di Huntington, che si attiva fra i trentacinque e i cinquantacinque anni, ha alte possibilità di essere trasmesso alla generazione successiva prima di uccidere il suo possessore. Ma se fosse attivato a vent'anni verrebbe trasmesso solo da persone che si riproducono precocemente, e quindi la selezione sarebbe nettamente a suo sfavore. Se poi venisse attivato all'età di dieci anni, praticamente non verrebbe mai trasmesso. La selezione naturale favorirebbe qualsiasi gene modificatore che avesse l'effetto di posporre l'età in cui il gene per la corea viene attivato. Secondo la teoria di Medawarìwilliams, questa sarebbe esattamente la ragione per cui il gene non si attiva fino alla mezza età. E' possibile che un tempo maturasse presto, e che la selezione naturale abbia favorito la posposizione del suo effetto letale fino alla mezza età. Senza dubbio vi è ancora una leggera pressione selettiva che lo sospinge verso l'attivazione in vecchiaia, ma questa pressione è debole perché poche delle sue vittime muoiono prima di riprodursi trasmettendolo alla generazione successiva.

Il gene per la corea di Huntington è un esempio particolarmente chiaro di gene letale. Esistono numerosissimi geni che in sé non sono letali ma hanno effetti che accrescono le [p. 128] probabilità dell'individuo di morire per qualche altra causa, e vengono chiamati subletali. Ancora una volta, la loro epoca di attivazione può essere influenzata da geni modificatori e quindi posposta o accelerata per selezione naturale. Medawar comprese che i malanni della vecchiaia potrebbero essere provocati dall'accumulo degli effetti di geni letali e subletali che sono stati sospinti sempre più avanti nel ciclo vitale e sono riusciti a infiltrarsi attraverso le maglie della

rete riproduttiva passando alle generazioni successive semplicemente grazie alla loro attivazione tardiva.

La svolta che G'C' Williams, il decano dei moderni darwinisti americani, ha impresso a questi studi nel 1957 è importante, e ci riporta al nostro ragionamento sugli interscambi economici. Per comprenderlo, dobbiamo stabilire ancora un paio di premesse. Solitamente un gene ha più di un effetto, che spesso si fa sentire su parti del corpo superficialmente molto diverse. Non soltanto questa «pleiotropia» è un fatto, ma è un fatto altamente attendibile,

considerando che i geni esercitano i loro effetti sullo sviluppo embrionale e che quest'ultimo è un processo complesso. Di conseguenza, qualsiasi nuova mutazione ha probabilità di avere non un solo effetto ma parecchi. Sebbene uno di essi possa essere favorevole, è improbabile che più di uno lo sia. Ciò accade perché gli effetti delle mutazioni sono prevalentemente negativi. Oltre a essere un fatto, è anche qualcosa che possiamo aspettarci in linea di principio: quando si mettono le mani in un'apparecchiatura complessa - una radio, per esempio - vi sono molti più modi di peggiorarne il funzionamento che di migliorarlo.

Ogniqualvolta la selezione naturale favorisce un gene per i suoi benefici effetti in gioventù - l'attrattiva sessuale in un giovane maschio, poniamo - si profila la possibilità che vi sia anche un aspetto negativo, come una particolare malattia nella mezza o nella tarda età. Teoricamente gli effetti dell'età potrebbero anche essere opposti, ma secondo la logica di Medawar è raro che la selezione naturale favorisca l'insorgenza di una malattia in gioventù affinché lo stesso gene, in vecchiaia, possa avere effetti positivi. Inoltre

non dobbiamo dimenticare l'esistenza dei geni modificatori. Ciascuno dei numerosi [p. 129] effetti di un gene, sia positivi che negativi, nell'evoluzione successiva potrebbe subire cambiamenti del tempo di attivazione. Secondo il principio di Medawar, gli effetti positivi tendono a essere spostati verso la prima parte della vita, mentre gli effetti negativi tendono a essere posposti alla seconda. Inoltre in alcuni casi vi sarà un interscambio diretto fra effetti precoci ed effetti tardivi, com'era già implicito nella nostra discussione sul salmone. Se un animale ha una quantità finita di risorse da spendere, poniamo, nel diventare fisicamente forte evitando abilmente i pericoli, l'inclinazione a spendere quelle risorse in giovane età verrà favorita rispetto all'inclinazione a spenderle più tardi. Gli individui che tenderebbero a profondere le proprie risorse nella seconda parte della vita hanno maggiori probabilità di essere già morti per altre cause prima di averne l'occasione. Se volessimo esprimere l'opinione generale di Medawar rovesciando la terminologia introdotta nel Capitolo 1, ciascun essere vivente discende da una linea ininterrotta di progenitori che a un certo punto della vita furono tutti giovani ma molti dei quali non raggiunsero mai la vecchiaia. Quindi noi ereditiamo ciò che ci vuole per essere giovani, ma non necessariamente ciò che ci vuole per diventare vecchi. Noi tendiamo a ereditare geni per morire molto dopo essere nati, ma non per morire poco dopo essere nati.

Per tornare al pessimistico inizio del presente capitolo, quando la funzione di utilità - ciò che viene massimizzato - è la sopravvivenza del dna, non la si può certamente definire una ricetta della felicità. Fino a quando il dna venga trasmesso, non ha importanza chi

o che cosa rimanga danneggiato. E' meglio per i geni degli icneumonidi di Darwin che il bruco venga consumato vivo, cioè fresco, e la sua sofferenza è irrilevante. I geni non si preoccupano per le sofferenze degli organismi perché in realtà non si preoccupano di nulla.

Se la Natura fosse dolce e gentile, come minimo farebbe al bruco la piccola concessione di venire anestetizzato prima di essere divorato vivo dall'interno. Ma la Natura non è né gentile né feroce. Non è né a favore né contro la sofferenza. La Natura non è minimamente interessata alla sofferenza, a meno che questa non influisca sulla sopravvivenza del dna. E' [p. 130] facile immaginare un gene che tranquillizzi la gazzella nel momento in cui sta per ricevere il morso fatale. Un simile gene verrebbe favorito dalla selezione naturale? No, a meno che il fatto di tranquillizzare la gazzella non migliorasse le probabilità del gene di venire trasmesso alle generazioni future. Non vediamo come ciò potrebbe verificarsi, e quindi possiamo dedurne che la gazzella soffre la paura e orrendi dolori quando un predatore la insegue e la uccide, e infatti è quasi sempre così. La quantità complessiva di sofferenza inferta ogni anno nel mondo naturale è al di là di ogni immaginazione. Nel minuto che mi occorre per scrivere questa frase, migliaia di animali vengono mangiati vivi; altri, in preda al terrore, corrono a perdifiato; altri ancora vengono lentamente divorati dall'interno da un infaticabile parassita; migliaia di individui di ogni specie muoiono per fame, sete e malattie. Deve essere così. Se vi è un momento di abbondanza, questo stesso fatto comporterà automaticamente un aumento della popolazione fino a quando lo stato naturale di inedia e sofferenza verrà ristabilito.

I teologi fanno del loro meglio per liquidare un tema preoccupante come il «problema del male» con il conseguente «problema della

sofferenza». Il giorno in cui scrissi la prima stesura di questo paragrafo, tutti i quotidiani britannici pubblicavano la terribile notizia che un autobus carico di bambini di una scuola cattolica, in circostanze non chiare, aveva avuto un incidente che aveva causato la perdita di molte vite. Non per la prima volta, i sacerdoti erano angosciati dall'interrogativo teologico che un corrispondente di un quotidiano londinese, «The Sunday Telegraph», aveva così formulato: «Come si può credere in un Dio onnipotente e misericordioso che permetta il verificarsi di una simile tragedia?». L'articolo proseguiva citando la risposta di un sacerdote: «La semplice risposta è che noi non sappiamo perché debba esservi un Dio che permette il verificarsi di cose tanto terribili. Ma l'orrore di questo incidente, agli occhi di un cristiano, conferma il fatto che viviamo in un mondo di valori reali: valori positivi e valori negativi. Se l'universo fosse composto solo di elettroni, non esisterebbero né il male né le

sofferenze».

[p. 131] Al contrario, se l'universo fosse composto solo di elettroni e di geni egoisti, tragedie insensate come questa sarebbero esattamente ciò che dovremmo aspettarci, insieme con una buona fortuna ugualmente insensata. Un universo siffatto non sarebbe né cattivo né buono quanto a intenzioni. Semplicemente, non manifesterebbe alcuna intenzione. In un universo di cieche forze fisiche e di duplicazione genetica, alcune persone rimangono danneggiate mentre altre sono fortunate, e in tutto ciò non vi è né ragione né giustizia. L'universo che noi osserviamo ha precisamente le proprietà che potremmo aspettarci se non avesse né progetto né scopo, né bene né male, null'altro che cieca e impietosa

indifferenza. Il malinconico A'E' Housman scrisse:
«Poiché la Natura, una Natura senza cervello e senza cuore@
Nulla mai saprà e di nulla si curerà.@»
Il dna non sa nulla e non si cura di nulla. Il dna, semplicemente, è. E noi danziamo alla sua musica.
[p. 133] 5.
La bomba duplicazionale

La maggior parte delle stelle - e il nostro sole è tipico - arde uniformemente per migliaia di milioni di anni. Molto di rado, in qualche luogo della galassia, una stella esplode improvvisamente e diventa una supernova. Nell'arco di alcune settimane la luminosità della supernova aumenta di molti miliardi di volte, poi la stella si spegne e di essa non rimangono che spoglie oscure. Durante i pochi giorni di massima luminosità come supernova, una stella può emanare più energia che in tutte le precedenti centinaia di milioni di anni.
Se il nostro sole dovesse «diventare una supernova», l'intero sistema solare sarebbe vaporizzato in un istante. Fortunatamente è molto improbabile. Nella nostra galassia di centinaia di miliardi di stelle, solo tre supernove sono ricordate dagli astronomi: quelle del 1054, del 1572 e del 1604. La nebulosa del Granchio è quanto resta dell'evento del 1054, documentato dagli astronomi cinesi. (Quando dico evento «del 1054» intendo ovviamente quello che raggiunse la Terra nel 1054. L'evento in sé era avvenuto seimila anni addietro. Le prime onde luminose così generate ci giunsero nel 1054). Dal 1604, le uniche supernove osservate appartenevano ad altre galassie.
Vi è un altro tipo di esplosione in cui una stella può essere coinvolta. Invece di «diventare una supernova» può «diventare informazione». L'esplosione inizia più lentamente che nel caso della supernova, e occorre un tempo di preparazione incomparabilmente più

lungo. Possiamo definirla «bomba informazionale» o, per ragioni che fra poco saranno evidenti, [p. 134] «bomba duplicazionale». Durante gli iniziali, pochi miliardi di anni di preparazione, una simile

bomba si sarebbe potuta individuare solo trovandosi nelle immediate vicinanze. Ma col tempo, manifestazioni appena percettibili dell'esplosione raggiungono distanti regioni dello spazio ed essa, almeno potenzialmente, è riconoscibile da lunga distanza. Non sappiamo come questo tipo di esplosione finisca. C'è da presumere che si esaurisca progressivamente come una supernova, ma d'altro canto non sappiamo nemmeno quanto tempo questa bomba impieghi tipicamente a prepararsi all'esplosione. Forse finisce in una violenta catastrofe autodistruttiva, o forse in una meno traumatica e ripetuta emissione di oggetti, spostati - con una traiettoria guidata, e non semplicemente balistica - lontano dalla stella, per raggiungere luoghi distanti dello spazio dove potrà contagiare altri sistemi stellari con la sua tendenza a esplodere.

La ragione per cui sappiamo così poco sulle bombe duplicazionali nell'universo è che ne abbiamo un solo esempio, e un esempio di qualsiasi fenomeno non è una base sufficiente su cui generalizzare. Il nostro unico caso sta ancora svolgendosi. E' iniziato da tre a quattro miliardi di anni or sono, e ha appena raggiunto la soglia costituita dall'allontanamento dalle immediate vicinanze della stella. Stiamo parlando di Sol, una stella nana gialla che si trova al limite della nostra galassia, in una delle braccia spiraliformi. Noi la chiamiamo Sole. L'esplosione, in realtà, si originò in uno dei satelliti orbitanti intorno al sole, ma tutta l'energia necessaria per avviare l'esplosione è solare. Il satellite, ovviamente, è la

Terra, e l'esplosione avvenuta quattro miliardi di anni fa - la bomba duplicazionale - è la vita. Noi uomini siamo una manifestazione estremamente importante della bomba duplicazionale, perché è per nostro mezzo - attraverso le nostre menti, la nostra cultura simbolica e la nostra tecnologia - che il fenomeno potrebbe passare allo stadio successivo e diffondersi nello spazio profondo.

Come ho detto, la nostra bomba duplicazionale è, fino a oggi, la sola nota nell'universo, ma ciò non significa necessariamente che eventi di questo tipo siano più rari delle supernove. Come si sa, le supernove della nostra galassia finora osservate [p. 135] sono tre contro l'unicità della bomba duplicazionale, ma esse, per l'immensa quantità di energia liberata, sono molto più facilmente visibili da lontano. Fino a qualche decennio fa, quando le radioonde prodotte dall'uomo iniziarono a diffondersi dal pianeta verso l'esterno, la nostra esplosione di vita sarebbe passata inosservata persino sui pianeti molto vicini. Probabilmente, fino a tempi recenti, la sola manifestazione evidente della nostra esplosione di vita fu la Grande barriera corallina.

Una supernova è un'esplosione gigantesca e improvvisa. L'evento che innesca un'esplosione è sempre riconducibile a una quantità che supera il valore critico; in seguito a ciò le cose sfuggono

progressivamente al controllo e alla fine producono un risultato molto maggiore dell'evento che ha dato l'avvio al processo. Nel caso di una bomba duplicazionale l'evento è la comparsa spontanea di entità autoduplicanti ma variabili. Il motivo per cui l'autoduplicazione è un fenomeno potenzialmente esplosivo è comune ad ogni esplosione: la crescita esponenziale, cioè il principio del «più si ha, più si

acquisisce». Quando si abbia un oggetto autoduplicante, presto se ne avranno due. Poi ciascuno dei due fa una copia di se stesso e così se ne avranno quattro. Poi otto, sedici, trentadue, sessantaquattro'" Dopo sole trenta generazioni il numero degli oggetti duplicanti avrà già superato il miliardo. Dopo cinquanta generazioni il loro numero sarà salito a mille milioni di milioni, e dopo cento sarà un milione di milioni di milioni di milioni di milioni di milioni di milioni di milioni di milioni di milioni'" in teoria. In pratica non potrebbe mai essere così, perché questo risultato è un numero addirittura superiore a quello degli atomi nell'universo. Bisogna porre un limite al processo esplosivo di autocopiatura molto prima che raggiunga duecento generazioni di duplicazione incontrollata.

Non possediamo testimonianze dirette riguardo all'evento primario che avviò la duplicazione sul nostro pianeta. Possiamo solo immaginare che il processo si sia avviato a causa di quell'esplosione violenta di cui noi siamo parte. Non sappiamo esattamente quale aspetto avesse assunto l'evento critico originario, l'inizio dell'autoduplicazione, ma possiamo formulare [p. 136] ipotesi sulla sua natura. Tutto ebbe inizio con un evento chimico.

La chimica è paragonabile a uno spettacolo teatrale che si svolge su tutte le stelle e su tutti i pianeti, e gli attori sono gli atomi e le molecole. Anche il più raro degli atomi è presente in quantità molto maggiore delle grandezze a cui siamo abituati. Isaac Asimov ha calcolato che il numero di atomi dell'elemento raro chiamato astato-215 presenti nel Nord e nel Sudamerica per una profondità di circa sedici chilometri è «soltanto un trilione». Le unità fondamentali della chimica sono irrequieti atomi che reagiscono tra loro producendo una popolazione variabile ma sempre molto numerosa di unità più grandi, le molecole. Per quanto abbondanti possano essere, le molecole di un certo tipo - al contrario, per esempio, degli

animali di una determinata specie o di due violini fabbricati da Stradivari - sono sempre identiche. L'incessante danza degli atomi fece sì che alcune molecole diventassero più frequenti nel mondo, mentre altre sono più rare. Un biologo è naturalmente tentato di descrivere in termini di «successo» le molecole più numerose nell'ambito di una popolazione, ma soccombere a una tentazione simile sarebbe nocivo. Il successo, nel vero senso del termine, è una proprietà che si presenta solo a uno stadio più avanzato della nostra storia.

[PAGINA 100]
Qual è dunque il fondamentale evento critico che diede inizio all'esplosione della vita? Ho detto che fu la comparsa di entità autoduplicanti, ma, in modo del tutto equivalente, potremmo definirlo come l'origine del fenomeno dell'ereditarietà, un processo riassumibile nel detto popolare «tale il padre, tale il figlio».
Nelle molecole, solitamente, non si osserva nulla di simile. Le molecole di acqua, presenti sul nostro pianeta in proporzioni gigantesche, non mostrano nulla di lontanamente paragonabile all'ereditarietà vera e propria. Sulle prime si potrebbe pensare il contrario. La popolazione di molecole di acqua (Haumenta quando l'idrogeno (H) brucia in presenza di ossigeno (O), e decresce quando, per elettrolisi, idrogeno e ossigeno vengono separati formando ossigeno e idrogeno gassosi. Ma sebbene esista una certa dinamica della popolazione di molecole di acqua, non vi è ereditarietà. [p. 137]
La condizione minima per l'ereditarietà sarebbe l'esistenza di almeno due specie diverse di molecole di Hche avessero dato origine a, ovvero generato, copie della propria specie.
Talvolta le molecole si presentano in due forme speculari. Vi sono

due tipi di molecole di glucosio, che contengono atomi identici con legami uguali ma speculari. Lo stesso vale per altre molecole di zucchero e per molte molecole di altro genere, compresi gli importantissimi amminoacidi. Forse in questo caso si può parlare di «tale il padre, tale il figlio», cioè di ereditarietà chimica. E' possibile che le molecole destrogire producano molecole figlie anch'esse destrogire e viceversa? Innanzitutto occorre qualche informazione fondamentale sulle molecole speculari. Il fenomeno fu scoperto nel secolo scorso dal grande scienziato francese Louis Pasteur che stava conducendo uno studio sui cristalli di tartrato, un sale dell'acido tartarico, come sostanza importante per il processo di vinificazione. Un cristallo è un edificio solido, abbastanza grande da essere visto a occhio nudo e, in alcuni casi, da essere portato al collo come ornamento. Un cristallo si forma quando atomi o molecole, tutti dello stesso tipo, crescono sovrapponendosi e formando un corpo solido. La sovrapposizione non è casuale e disordinata ma segue una disposizione geometrica, un po' come i corazzieri, tutti della stessa altezza e tutti ugualmente rilucenti.
Le molecole che già fanno parte del cristallo costituiscono il modello di accrescimento che le nuove molecole formatesi da una soluzione acquosa seguono esattamente, in modo che il cristallo cresca come un preciso reticolo geometrico. Per questo i cristalli di sale hanno facce quadrate e i cristalli di diamante sono tetraedrici. Quando una forma costituisce il modello per la costruzione di un'altra forma uguale, ecco che abbiamo una possibilità, se pur vaga, di autoduplicazione.

Ora torniamo ai cristalli di tartrato di Pasteur. Egli aveva

osservato che quando lasciava una soluzione di tartrato in acqua, si formavano due diversi tipi di cristallo, uguali ma speculari. Laboriosamente, Pasteur li suddivise in due mucchietti distinti, e quando li ridissolse separatamente ottenne due soluzioni diverse, vale a dire due tipi di tartrato in soluzione. [p. 138] Quantunque le due soluzioni fossero simili sotto molti aspetti, Pasteur osservò che esse facevano ruotare la luce polarizzata in direzioni opposte. Da ciò deriva la denominazione convenzionale di levogira e destrogira data ai due tipi di molecole, poiché esse ruotano la luce polarizzata rispettivamente in senso antiorario e orario. Come è facile immaginare, quando le due soluzioni vennero fatte ricristallizzare ciascuna produsse cristalli puri la cui struttura era speculare rispetto ai cristalli dell'altra.

Le molecole speculari si distinguono per il fatto che, come le scarpe, resistono a ogni tentativo di scambiarle per potere utilizzare l'una al posto dell'altra. La soluzione originaria di Pasteur era costituita da una popolazione mista dei due tipi di molecole, ciascuna delle quali, nel cristallizzarsi, continuò a rimanere fedele al proprio tipo. L'esistenza di due (o più) varietà distinte di un'entità è una condizione necessaria perché vi sia vera e propria ereditarietà, ma non è sufficiente. Perché vi sia ereditarietà fra i cristalli, i cristalli levogiri e destrogiri dovrebbero potersi dividere a metà al raggiungimento di una dimensione critica, e ciascuna metà dovrebbe poter servire come modello per la ricrescita fino allo sviluppo completo. A queste condizioni avremmo realmente una popolazione crescente di due tipi di cristallo rivali, e potremmo parlare di vero e proprio «successo» nell'ambito di tale popolazione poiché - dato che i due tipi competerebbero per gli stessi atomi costitutivi - l'uno, se fosse «più capace» di produrre copie di se stesso, potrebbe accrescersi a spese

dell'altro. Sfortunatamente la stragrande maggioranza delle molecole non possiede questa singolare proprietà.

Ho detto «sfortunatamente» perché i chimici che nella ricerca medica e farmaceutica cercano di ottenere particolari tipi di molecole, per esempio le levogire, sarebbero ben felici di poterle «allevare». Ma poiché le molecole servono come modello per la formazione di altre molecole, i chimici solitamente le «allevano» per ottenere una generica asimmetria, e non per uno specifico orientamento levogiro o destrogiro. Ciò rende le cose difficili, perché se si inizia con una forma levogira si finisce con un'uguale mescolanza di molecole levogire e destrogire. I ricercatori che lavorano in questo particolare [p. 139] campo stanno studiando tecniche per «indurre» le molecole a «generare» altre molecole con il loro stesso orientamento, e non è certamente un compito facile.

In effetti, sebbene probabilmente non avesse nulla a che fare con

[PAGINA 102]

l'orientamento, qualcosa di simile a ciò che i chimici stanno tentando di ottenere comparve naturalmente e spontaneamente quattro miliardi di anni or sono quando il mondo era nuovo e l'esplosivo processo che sarebbe sfociato nella vita e nell'informazione genetica era appena iniziato. Ma perché l'esplosione potesse verificarsi occorreva qualcosa di più della semplice ereditarietà. Anche se una molecola mostra vera e propria ereditarietà fra le forme levogire e le destrogire, la competizione fra due soli tipi non avrebbe conseguenze di rilievo. E una volta che uno dei due, per esempio il levogiro, l'avesse vinta, la questione sarebbe liquidata, perché non vi sarebbe più alcuna possibilità di progresso.

Le molecole più grandi possono essere destrogire o levogire in

parti diverse della molecola. La monensina, un antibiotico, ha diciassette centri di asimmetria, e per ciascuno vi è una forma levogira e una destrogira. Due elevato 17 fa 131'072, e vi sono quindi 131'072 forme diverse delle molecole. Se queste forme possedessero una reale ereditarietà, per cui ciascuna forma sarebbe simile a quelle della propria specie, potrebbe esservi una competizione molto complessa perché gli individui delle forme di maggior successo si affermerebbero gradualmente in successive generazioni. Ma anche questa sarebbe un'ereditarietà di tipo limitato perché 131'072, pur essendo un numero elevato, è un numero finito. Per un'esplosione di vita che meriti questo nome occorre l'ereditarietà ma occorre anche una varietà così ampia da poterla definire praticamente illimitata.

Con la monensina abbiamo raggiunto la fine del percorso per quanto concerne l'ereditarietà speculare. Ma la contrapposizione fra orientamento destrogiro e levogiro non è il solo tipo di differenza che potrebbe prestarsi alla duplicazione per ereditarietà. Il chimico Julius Rebek e i suoi collaboratori del Massachusetts Institute of Technology hanno preso sul serio la sfida di riuscire a produrre molecole autoduplicanti. Le varianti che essi utilizzano non sono immagini speculari. [p. 140] Hanno iniziato a lavorare su due piccole molecole - i nomi non ci interessano, e le chiameremo semplicemente A e B - e le hanno mescolate in soluzione, ottenendo un composto chimico che, l'avete già indovinato, chiameremo C. Ciascuna molecola C è un modello, una sorta di stampo per altre molecole. Le A e le B, liberamente sospese nella soluzione, vengono spinte in posizione dentro lo stampo, dove si trovano correttamente allineate per fabbricare una nuova C, identica alla precedente. Le molecole C non si uniscono fra loro per formare un cristallo, ma rimangono separate. Ora entrambe le C sono disponibili come modello per la fabbricazione

di nuove C, e la popolazione di molecole C aumenta esponenzialmente.
Come abbiamo detto, il sistema non è caratterizzato da vera e propria ereditarietà, ma rivela una continuità. La molecola B si

presenta in una varietà di forme, ciascuna delle quali si combina con A per produrre la propria versione della molecola C. In questo modo abbiamo C1, C2, C3 e via dicendo. Ciascuna di queste versioni della molecola C serve da modello per la formazione di altre molecole C del proprio tipo. Dunque, la popolazione di C è eterogenea. Inoltre, i diversi tipi di C non sono tutti ugualmente efficienti nel produrre molecole figlie, quindi vi è competizione fra versioni rivali nell'ambito della popolazione di molecole C. Ancor meglio, «mutazioni spontanee» della molecola C possono essere indotte colpendole con raggi ultravioletti. Il nuovo tipo mutante si è dimostrato «capace di riprodursi» nel vero senso del termine e ha generato molecole figlie uguali a se stesso. Con soddisfazione si è osservato che le nuove varianti hanno superato in competitività il tipo parentale e in brevissimo tempo si sono impadronite dell'universo in provetta in cui queste protocreature erano state generate. Il complesso Aìbìc non è il solo insieme di molecole che si comportino in questo modo. Vi sono anche D, E e F, tanto per menzionare una tripletta confrontabile. Il gruppo di Rebek ha ottenuto addirittura ibridi autoduplicanti di elementi del complesso Aìbìc e del complesso Dìeìf.

Le molecole realmente autoduplicanti che conosciamo in natura - gli acidi nucleici dna e rna - hanno un ricchissimo [p. 141] potenziale di variazione. Mentre un duplicatore di Rebek è una catena con due soli anelli, una molecola di dna è una lunga catena di lunghezza indefinita; ciascuna delle centinaia di anelli della catena può

appartenere a uno fra quattro tipi, e quando un determinato tratto di dna fa da modello per la formazione di una nuova molecola di dna, ciascuno dei quattro tipi fa da modello per un tipo particolare dei quattro. Le quattro unità, che chiamiamo basi, sono i composti chimici adenina, timina, citosina e guanina, convenzionalmente indicati rispettivamente con A, T, C, g. a fornisce sempre il modello per T e viceversa. G fornisce sempre il modello per C e viceversa. Qualsiasi combinazione di A, T, C e G è possibile e verrà fedelmente duplicata. Inoltre, poiché le catene di dna sono di lunghezza indefinita, il ventaglio di variazioni possibili è infinito. Questa è una potenziale ricetta per un'esplosione informazionale le cui riverberazioni potranno estendersi al di fuori del pianeta originario e raggiungere le stelle.

Le riverberazioni prodotte dall'esplosione duplicazionale del nostro sistema solare sono rimaste confinate al pianeta d'origine per la maggior parte dei quattro miliardi di anni trascorsi dall'evento. Solo nell'ultimo milione di anni è comparso un sistema nervoso capace di inventare tecnologie che hanno consentito lo sviluppo della radiofonia. E solo negli ultimi decenni quello stesso sistema ha raggiunto un alto grado di sviluppo nella scienza delle trasmissioni. Ora una crescente quantità di radioonde cariche di informazioni si

sta diffondendo dal nostro pianeta alla velocità della luce.

Ho detto «cariche di informazioni» perché vi era già una quantità enorme di radioonde che si intrecciavano nel cosmo. Le stelle irradiano sia radiofrequenze sia le frequenze che noi conosciamo come luce visibile. Vi è persino una piccola quantità di rumore di fondo rimasto dall'originario Big Bang che ha tenuto a battesimo il tempo e

l'universo. Ma il rumore di fondo non ha costrutto e non è ricco di informazioni. Un radioastronomo della costellazione del Centauro individuerebbe lo stesso rumore di fondo udibile dalle nostre stazioni ma noterebbe anche radioonde formanti uno schema più complesso provenienti dalla direzione della stella Sol. [p. 142] Lo schema non verrebbe riconosciuto come una mescolanza di programmi televisivi di quattro anni prima, ma certamente verrebbe riconosciuto come qualcosa di più articolato e carico di informazioni del rumore di fondo. I radioastronomi del Centauro, suscitando grande clamore e aspettative, riferirebbero che la stella Sol è esplosa producendo l'equivalente informazionale di una supernova (ed è probabile che, pur non essendone sicuri, sospetterebbero che il segnale provenga da un pianeta orbitante intorno a Sol).

Le bombe duplicazionali, come abbiamo visto, hanno tempi più lenti rispetto alle supernove. Alla nostra sono occorsi alcuni miliardi di anni per raggiungere la soglia delle comunicazioni via radio, cioè il momento in cui una certa parte delle informazioni fluisce all'esterno del mondo parentale e inizia a lambire i sistemi stellari vicini con impulsi carichi di significato. Possiamo ritenere che le esplosioni di informazioni, se le nostre sono tipiche, superino una serie graduale di soglie. Il raggiungimento della soglia delle comunicazioni via radio e, prima ancora, di quella del linguaggio avvenne piuttosto tardi nella traiettoria di una bomba duplicazionale. Prima vi era quella che - almeno su questo pianeta - può essere definita la soglia delle cellule nervose, e prima ancora vi fu la soglia degli organismi pluricellulari. La soglia numero uno, la progenitrice di tutte, fu quella della duplicazione, l'evento scatenante che rese possibile l'esplosione.

Che cosa è tanto importante nei meccanismi di duplicazione? Com'è che una molecola dotata dell'apparentemente innocua proprietà di

servire da stampo per la sintesi di un'altra uguale a se stessa può innescare un'esplosione le cui ultime riverberazioni si estenderanno oltre il sistema planetario in cui si sono generate? Come abbiamo visto, parte del potere dei duplicatori è nella crescita esponenziale, verso cui questi mostrano un'evidentissima tendenza. Un semplice esempio è la cosiddetta catena di Sant'Antonio. Si riceve una cartolina su cui è scritto: «Fai sei copie di questa cartolina e inviale a sei amici entro una settimana. Se non lo farai, una maledizione ti colpirà ed entro un mese morirai fra orribili

sofferenze». Se sei una persona sensata butti via la cartolina. Ma spesso la gente non è sensata; molti si sentono vagamente incuriositi, [p. 143] o sono intimiditi dalla minaccia, e ne inviano sei copie ad altre persone. Di queste sei, forse due si persuaderanno e ne invieranno altre sei copie ciascuna. Se, in media, un terzo delle persone che ricevono la cartolina obbedisce alle istruzioni, il numero delle cartoline in circolazione si raddoppierà ogni settimana. In teoria ciò significa che il numero di cartoline in circolazione dopo un anno sarà 2 elevato a 52, vale a dire circa quattromila trilioni: un numero di cartoline sufficiente a seppellire ogni uomo, donna o bambino della terra.

La crescita esponenziale, se non è frenata dalla mancanza di risorse, conduce sempre a risultati sorprendentemente alti in tempi sorprendentemente brevi. Ma in pratica le risorse sono limitate, e a ciò si aggiungono altri fattori che frenano la crescita esponenziale. Nel nostro esempio ipotetico, coloro che ricevessero una seconda volta la stessa lettera, probabilmente comincerebbero a ribellarsi. Nella competizione per le risorse possono presentarsi varianti del

duplicatore più efficienti nel duplicarsi, che tenderanno a sostituire le loro rivali meno efficienti. E' importante comprendere che nessuna di queste entità duplicanti è consciamente interessata alla propria autoduplicazione, ma accadrà semplicemente che il mondo si riempie di duplicatori di maggiore efficienza.

Nel caso della catena di Sant'Antonio, essere efficiente può consistere in una migliore raccolta di parole sulla carta. Invece di un'affermazione poco plausibile come «se non obbedisci a quanto ti viene detto in questa cartolina morirai fra orribili sofferenze entro un mese», il messaggio potrebbe cambiare in «per favore, ti prego di salvare la tua anima e la mia, non correre il rischio: se hai il minimo dubbio, obbedisci alle istruzioni e spedisci la lettera ad altre sei persone». Simili «mutazioni» possono avvenire più volte, e alla fine il risultato sarà una popolazione eterogenea di messaggi tutti in circolazione, tutti discesi dallo stesso progenitore originario ma tutti differenti nella formulazione e nella forza e natura degli argomenti di persuasione impiegati. La frequenza delle varianti più persuasive aumenterà a spese delle rivali che lo sono meno. Il successo è semplicemente sinonimo di frequenza delle cartoline in circolazione. La catena di Sant'Antonio è un ben noto esempio di questo successo: ha fatto più [p. 144] volte il giro del mondo, probabilmente moltiplicandosi. Durante la stesura di questo libro ricevetti la seguente versione da Oliver Goodenough, della University of Vermont, e insieme scrivemmo un articolo per la rivista scientifica «Nature» in cui definivamo la catena «un virus della mente»:

«Con l'amore tutto è possibile

«Questo scritto ti è stato inviato perché ti porti fortuna. L'originale è nel New England. Ha fatto il giro del mondo 9 volte. Ti è stata mandata la Fortuna. Riceverai la fortuna entro 4 giorni dal ricevimento di questa lettera a patto che tu la faccia circolare. Non è uno scherzo. La fortuna ti arriverà con la posta. Non inviare denaro. Invia delle copie a persone che secondo te hanno bisogno di fortuna. Non mandare denaro perché la fede non ha prezzo. Non trattenere questa lettera. Entro 96 ore non deve più essere nelle tue mani. Joe Elliott, un ufficiale dell'arp, (*) ha ricevuto dollari 40'000'000 dollari. Geo Welch ha perso la moglie 5 giorni dopo aver ricevuto questa lettera. Non l'aveva fatta circolare. Ma prima della morte di lei aveva ricevuto dollari 75'000. Per favore, invia le copie e sta' a vedere cosa capita dopo 4 giorni. La catena viene dal Venezuela ed è stata scritta da Saul Anthony Degnas, un missionario sudamericano. Da allora le copie devono fare il giro del mondo. Tu devi farne 20 copie e mandarle ad amici e ad associazioni e dopo qualche giorno avrai una sorpresa. Questo è amore anche se non sei superstizioso. Nota bene ciò che sto per dirti: Cantonare Dias ricevette questa lettera nel 1903. Chiese alla sua segretaria di farne delle copie e spedirle. Qualche giorno dopo vinse 20 milioni di dollari alla lotteria. Carl Dobbit, un impiegato, ricevette la lettera e dimenticò di doversene disfare entro 96 ore. Perse il lavoro. Dopo aver ritrovato la lettera, ne fece 20 copie e le spedì. Pochi giorni dopo trovò un lavoro migliore. Dolan Fairchild ricevette la lettera, non vi prestò fede e la gettò via. 9 giorni dopo morì. Nel 1987 la lettera venne ricevuta da una giovane donna in California. Era scolorita e la si leggeva con fatica. La giovane si ripromise di trascriverla e spedirla, ma poi la mise da parte rimandando il lavoro. Fu perseguitata da vari problemi, fra cui una grossa spesa per l'auto. Questa lettera non lasciò le sue mani entro

96 ore. Alla fine la batté a macchina, come aveva promesso, ed ebbe una nuova auto. Ricorda di non inviare denaro. Non ignorare questa lettera, funziona.

Sant'Antonio»

[p. 145] Questo ridicolo documento rivela in numerosi dettagli di essersi evoluto attraverso una serie di mutazioni. Contiene parecchi errori e goffaggini, ed è noto che altre versioni sono in circolazione. Parecchie versioni significativamente differenti mi sono state inviate da tutto il mondo da quando il nostro articolo è stato pubblicato su «Nature». In uno di questi testi alternativi, per esempio, l'«ufficiale dell'arp» è un «ufficiale della raf». La catena di Sant'Antonio è ben nota ai servizi postali di tutto il mondo, e secondo lo United States Postal Service risale a prima che il servizio iniziasse a tenere registrazioni del movimento postale ed è caratterizzata da ricorrenti recrudescenze epidemiche.

[PAGINA 107]

Bisogna osservare che l'elenco delle presunte fortune godute da coloro che hanno ottemperato alle istruzioni e delle disgrazie che hanno colpito chi si era rifiutato non può essere stato scritto dalle vittime o dai beneficiari. La presunta buona fortuna dei beneficiari non giunse loro fino a dopo essersi disfatti della lettera, mentre le vittime erano quelli che non avevano spedito le copie. C'è da presumere che queste vicende siano state inventate, come forse avrete già capito dall'implausibilità del loro contenuto. Ciò ci conduce al più importante aspetto sotto il quale la catena di Sant'Antonio differisce dai duplicatori naturali che diedero inizio all'esplosione della vita. Le catene di Sant'Antonio vengono iniziate dall'uomo, e i cambiamenti nella formulazione delle frasi nascono nella mente umana.

All'inizio dell'esplosione della vita non vi erano menti, non vi era creatività e non vi era intenzione. Esisteva solo la chimica. Ma quando comparvero le molecole chimiche autoduplicanti non poté sorgere che una tendenza automatica verso l'accrescimento delle varianti di successo a spese di quelle di minor successo.

Come nel caso della catena di Sant'Antonio, il successo fra i duplicatori chimici è semplicemente sinonimo di frequenza nella circolazione. Ma si tratta solo di una definizione, anzi, quasi di una tautologia. Il successo si ottiene con la competenza pratica, e competenza significa qualcosa di concreto e tutt'altro che tautologico. Una molecola duplicatrice avrà successo quando, chimicamente, possieda l'occorrente per la duplicazione, il che, in pratica, può essere infinitamente variabile, [p. 146] anche quando la natura dei duplicatori stessi appaia sorprendentemente uniforme.

Il dna è così uniforme da consistere interamente di variazioni nella sequenza delle stesse quattro «lettere» - A, T, C, g. al confronto, come abbiamo visto nei capitoli precedenti, i mezzi usati dalle sequenze di dna per duplicarsi sono sorprendentemente variabili. Fra questi può esservi la progettazione di un cuore più resistente per il cavallo, di zampe più adatte al salto per la pulce, di ali dal disegno più aerodinamico per il rondone, di vesciche natatorie più efficienti per i pesci. Tutti gli organi e gli arti degli animali, tutte le radici, le foglie e i fiori delle piante, tutti gli occhi, i cervelli e le menti, e persino tutte le paure e tutte le speranze, sono gli strumenti mediante i quali sequenze di dna che hanno avuto successo evolutivo cercano di proiettarsi nel futuro. Gli strumenti stessi sono pressoché infinitamente variabili, ma le ricette per la costruzione di quegli strumenti sono, per converso, ridicolmente uniformi: solo permutazioni e permutazioni di A, T, C, G.

Forse non è sempre stato così. Non abbiamo prove che, quando l'esplosione di informazioni iniziò, il codice della vita fosse scritto in lettere di dna. Anzi, tutta la tecnologia

[PAGINA 108]
dell'informazione, basata sul sistema dnaìproteine, è così sofisticata - alta tecnologia, secondo la definizione del chimico Graham Cairns-Smith - da far ritenere che non possa essere comparsa per puro caso, senza che vi fosse un altro sistema di duplicazione come precursore. Il precursore fu forse l'rna; oppure fu qualcosa di simile alle semplici molecole autoduplicanti di Julius Rebek; oppure potrebbe essere stato qualcosa di molto diverso: un'affascinante possibilità di cui ho discusso in dettaglio ne L'orologiaio cieco è il suggerimento di Cairns-Smith (si veda il suo Sette indizi sull'origine della vita) che i duplicatori primordiali siano stati i cristalli di argilla. Forse non lo sapremo mai con certezza.

Ciò che possiamo fare è tentare di costruire una cronologia generale delle esplosioni della vita su qualsiasi pianeta, ovunque nell'universo. I dettagli di ciò che ci sembrerà funzionare devono dipendere dalle condizioni locali. Il sistema dnaìproteine non funzionerebbe in un gelido mondo di [p. 147] ammoniaca allo stato liquido, ma forse un altro sistema di ereditarietà e un diverso sistema embriologico potrebbero funzionare. Questi, comunque, sono solo aspetti specifici che non prenderemo in considerazione perché desidero concentrarmi sulla ricetta generale e non sui principi correlati ai singoli pianeti. Ora mi addentrerò in modo più sistematico nell'elencazione delle soglie che ogni bomba duplicazionale planetaria dovrà superare. Alcune soglie hanno carattere di universalità mentre altre sono tipiche del nostro

pianeta. Forse non sarà sempre facile decidere quali abbiano probabilità di essere universali e quali locali, e questo problema è di per sé interessante.

La Soglia 1 è, ovviamente, la Soglia della duplicazione: la comparsa di un sistema di autocopiatura in cui vi è una forma rudimentale di variazione ereditaria, con occasionali errori casuali nella copiatura. La conseguenza del superamento della Soglia 1 è che il pianeta finirà per contenere una popolazione mista, in cui le varianti competono per le risorse. Queste saranno scarse, oppure inizieranno a scarseggiare quando la competizione si farà più viva. Alcune repliche delle varianti riveleranno un relativo successo nella competizione per le scarse risorse. Altre avranno un relativo insuccesso. In questo modo, ora abbiamo una forma iniziale di selezione naturale.

Tanto per cominciare, il successo fra duplicatori rivali verrà giudicato unicamente sulla base delle proprietà dirette dei duplicatori stessi, come ad esempio quanto la loro forma si adatti a un modello. Ma ora che l'evoluzione perdura da molte generazioni, dobbiamo passare alla Soglia 2, la Soglia del fenotipo. I duplicatori sopravvivono non in virtù delle loro proprietà ma in virtù degli effetti causali su qualcos'altro, che chiamiamo fenotipo. Sul nostro

pianeta, i fenotipi sono facilmente riconoscibili come quelle parti di un animale o di una pianta che possono essere influenzate dai geni, vale a dire ogni più piccola parte del «corpo». Pensate ai fenotipi come a leve di potere manovrate dai duplicatori di maggior successo per essere trasmessi alla generazione seguente. Più genericamente, i fenotipi possono essere definiti come la conseguenza

di duplicatori che influenzano il successo dei duplicatori [p. 148] pur non essendo duplicati essi stessi. Per esempio, un particolare gene in una specie di chiocciola presente in un'isola del Pacifico determina se l'avvolgimento della conchiglia sarà destrorso o sinistrorso. La molecola di dna non è essa stessa né destrorsa né sinistrorsa, ma lo è la sua conseguenza fenotipica. In relazione all'avvolgimento, la conchiglia potrà non avere lo stesso successo nel proteggere il corpo della chiocciola. Poiché i geni della chiocciola stanno all'interno della conchiglia la cui forma contribuiscono a influenzare, i geni che rendono una conchiglia particolarmente efficiente finiranno per sopraffare numericamente quelli che la rendono meno capace di proteggere la chiocciola. Le conchiglie, essendo fenotipi, non generano conchiglie figlie. Ciascuna è determinata dal dna, ed è il dna che genera altro dna.

Le sequenze di dna influenzano i loro fenotipi (come il senso dell'avvolgimento della conchiglia) attraverso una più o meno complessa catena di eventi intermedi, tutti riassunti nella generale definizione di «embriologia». Nel nostro pianeta, il primo anello della catena è sempre la sintesi di una molecola proteica. Ogni dettaglio di tale molecola è minuziosamente specificato, attraverso il famoso codice genetico, dalla sequenza formata dalle quattro lettere del dna. Ma è molto probabile che questi dettagli abbiano solo un significato locale. Più generalmente, un pianeta sarà popolato da duplicatori le cui conseguenze (fenotipi) abbiano effetti benefici, attraverso qualsiasi mezzo, sul successo dei duplicatori nell'essere copiati. Quando la Soglia del fenotipo sia stata varcata, i duplicatori sopravvivono in modo mediato attraverso i fenotipi, la loro conseguenza nel mondo. Sul nostro pianeta, queste conseguenze sono solitamente limitate al corpo in cui il gene fisicamente risiede. Ma non è necessariamente così. La dottrina del fenotipo

esteso (a cui ho dedicato un intero libro con lo stesso titolo) afferma che le leve di potere fenotipiche mediante le quali i duplicatori preparano la propria sopravvivenza a lungo termine non devono essere limitate al corpo «di proprietà» del duplicatore. I geni possono raggiungere particolari corpi esterni e influenzare il mondo in generale, compresi altri corpi.

[p. 149] Non ho idea di come la Soglia del fenotipo universale possa essere. Sospetto che sia stata varcata in tutti i pianeti su cui l'esplosione della vita è andata oltre uno stadio molto

[PAGINA 110]

rudimentale. E sospetto che lo stesso valga per la prossima della mia lista, la Soglia 3, che ho chiamato Soglia della squadra di duplicatori e che su alcuni pianeti può essere stata varcata prima, o allo stesso tempo, della Soglia del fenotipo. All'inizio, i duplicatori sono probabilmente entità autonome che cercano di tenersi a galla insieme con duplicatori rivali alle sorgenti del fiume genico. Ma una caratteristica dell'attuale sistema tecnologico dnaìproteine valido sulla terra è che nessun gene può operare isolatamente. Il mondo chimico in cui un gene opera è ancora più complesso della chimica del mondo esterno. Questo è certamente il retroterra, ma un retroterra remoto. Il mondo chimico immediato e vitalmente necessario del duplicatore del dna è un contenitore di composti chimici molto più piccolo e molto più concentrato, la cellula. In un certo senso è fuorviante definire una cellula come un contenitore di composti chimici, perché molte cellule hanno un'elaborata struttura interna di membrane ripiegate sulle quali, nelle quali e fra le quali si producono le reazioni chimiche vitali. Il microcosmo chimico costituito dalla cellula è mantenuto da un

complesso di centinaia - ma nelle cellule più avanzate, centinaia di migliaia - di geni. Ciascun gene contribuisce all'ambiente, che tutti poi sfruttano per sopravvivere. I geni operano in gruppo. Questo lo abbiamo già visto da un'angolazione leggermente diversa nel Capitolo 1.

Sul nostro pianeta, il più semplice dei sistemi autonomi di copiatura del dna è quello delle cellule batteriche, che necessitano di almeno un paio di centinaia di geni per fabbricare i componenti di cui hanno bisogno. Le cellule che non sono batteri vengono chiamate cellule eucariote. Le cellule umane, quelle degli animali, delle piante, dei funghi e dei protozoi, sono tutte eucariote. Tipicamente, esse hanno decine o centinaia di migliaia di geni, e tutti operano come una squadra. Come abbiamo visto nel Capitolo 2, ora sembra probabile che le cellule eucariote abbiano anch'esse avuto inizio come gruppo costituitosi da una mezza dozzina circa di cellule [p. 150] batteriche. Ma questa è una forma di lavoro di gruppo di ordine superiore che ora non intendo trattare. Parlerò invece del fatto che tutti i geni svolgono la propria funzione in un ambiente chimico mantenuto da un complesso di geni all'interno della cellula.

Afferrato il concetto che i geni operano in squadra, sorge la tentazione di presumere che ora la selezione darwiniana scelga fra squadre rivali di geni, cioè che sia ascesa a più alti livelli di organizzazione. La tentazione c'è, ma per conto mio è profondamente sbagliata. E' molto più esplicativo affermare che la selezione darwiniana continua a scegliere fra geni rivali, ma i geni che vengono favoriti sono quelli che prosperano in presenza degli altri geni, che a loro volta vengono favoriti dalla presenza reciproca.

Questo è il punto già incontrato nel Capitolo 1, dove avevamo visto che i geni che condividono la stessa diramazione del fiume digitale tendono a diventare «buoni compagni».

Forse il grande passo successivo da compiere quando la bomba duplicazionale acquista velocità su un pianeta è la Soglia pluricellulare, cioè la Soglia 4. Come abbiamo visto, nella nostra forma di vita qualsiasi singola cellula è un piccolo mare locale di composti chimici in cui naviga una squadra di geni. Sebbene contenga l'intera squadra, la cellula non viene fabbricata da tutti i suoi componenti, ma solo da una parte. Le cellule stesse si moltiplicano dividendosi a metà, e ciascuna metà cresce fino alla dimensione originaria. Quando ciò accade, tutti i componenti della squadra di geni vengono duplicati. Se le due cellule non si separano completamente, e rimangono attaccate, si possono formare grandi edifici, di cui le cellule sono i mattoni. L'abilità di costruire edifici pluricellulari può essere importante tanto in altri mondi quanto nel nostro. Quando la Soglia pluricellulare sia stata varcata, possono comparire fenotipi la cui forma e le cui funzioni vengono apprezzate solo su una scala infinitamente più grande di quella della singola cellula. Un palco di cervide o una foglia, il cristallino di un occhio o la conchiglia di una chiocciola: tutte queste forme vengono composte dalle cellule, che tuttavia non sono una versione in miniatura della forma maggiore. Gli organi pluricellulari, in altri termini, non crescono [p. 151] nello stesso modo in cui crescono i cristalli. Nel nostro pianeta, perlomeno, crescono allo stesso modo degli edifici, che non hanno la forma di immensi mattoni. Una mano ha una forma caratteristica, ma non è costituita da cellule a forma di mano, come lo sarebbe se i fenotipi crescessero allo stesso modo dei cristalli. Sempre al pari degli edifici, gli organi pluricellulari acquistano la propria forma e dimensione caratteristiche perché

strati di cellule (mattoni) seguono regole che indicano loro quando fermare la propria crescita. Inoltre, le cellule conoscono in qualche modo la propria posizione in rapporto alle altre. Le cellule del fegato operano come se sapessero di essere cellule del fegato, e inoltre sanno se si trovano ai margini di un lobo oppure al centro. Come facciano è al tempo stesso una domanda difficile e un argomento intensamente studiato. Le risposte sono probabilmente proprie del nostro pianeta, cioè locali, e noi non approfondiremo ulteriormente l'argomento, che peraltro ho già sfiorato nel Capitolo 1. Comunque siano i dettagli, questi metodi di comunicazione fra cellule sono stati perfezionati mediante lo stesso processo generale che ha governato tutti gli altri progressi del vivente: la sopravvivenza non casuale di geni che favoriscono il successo evolutivo, giudicata dai suoi effetti; in questo caso, gli effetti sul comportamento delle cellule in relazione alle cellule vicine.

La prossima soglia che voglio prendere in considerazione - perché credo che anch'essa abbia probabilmente un'importanza non limitata al nostro pianeta - è la Soglia dell'elaborazione rapida di informazioni. Sul nostro pianeta la Soglia 5 è stata varcata da una particolare classe di cellule, i neuroni, o cellule nervose, e a livello locale potremmo chiamarla Soglia del sistema nervoso. Comunque possa essere raggiunta su un pianeta, essa è importante perché, avendola superata, è possibile operare in tempi molto più rapidi di quanto possano fare direttamente i geni con le loro leve di potere di natura chimica. I predatori possono balzare sulla vittima, che a sua volta può cercare di eluderli utilizzando un apparato muscolare e un apparato nervoso che agiscono e reagiscono a velocità

immensamente maggiori di quelle dell'origami embriologico mediante il quale i duplicatori hanno costruito l'apparato [p. 152] stesso. Le velocità assolute e i tempi di reazione possono essere molto diversi da pianeta a pianeta, ma su tutti i pianeti viene varcata una soglia importante quando gli strumenti prodotti dai duplicatori iniziano ad avere tempi di reazione di gran lunga più rapidi dei processi embriologici dei duplicatori stessi. Siamo invece meno certi che gli strumenti debbano necessariamente somigliare agli oggetti che noi, su questo pianeta, chiamiamo neuroni e cellule muscolari. Ma sui pianeti in cui si è superato qualcosa di somigliante alla Soglia del sistema nervoso non mancheranno probabilmente importanti conseguenze, e la bomba duplicazionale procederà nella sua traiettoria fuori del pianeta.

Fra queste conseguenze potranno esservi vaste aggregazioni di unità di elaborazione di dati - «cervelli» - capaci di elaborare complessi insiemi di dati appresi mediante «organi di senso» e di immagazzinarli nella «memoria». Una più complessa e misteriosa conseguenza del superamento della soglia neuronale è la consapevolezza conscia, che costituisce la Soglia 6, ovvero la Soglia della coscienza. Non sappiamo quante volte questa sia stata raggiunta sul nostro pianeta. Alcuni filosofi ritengono che sia indissolubilmente legata al linguaggio, che sembra essere stato acquisito solo una volta, e precisamente da Homo sapiens, un'antropomorfa bipede. Che la coscienza richieda il linguaggio o meno, è comunque giusto riconoscere la Soglia del linguaggio come una tappa importantissima, la Soglia 7, che su un pianeta può essere varcata o meno. I dettagli del linguaggio, non importa se espresso mediante suoni o con altri mezzi fisici, hanno importanza locale.

Il linguaggio, da questo punto di vista, è il sistema di collegamento in rete mediante il quale i cervelli (così vengono

chiamati su questo pianeta) scambiano informazioni in modo sufficientemente approfondito da permettere lo sviluppo di una tecnologia cooperativa. Tale tecnologia, iniziata con la costruzione

[PAGINA 113]
di strumenti litici basata sull'imitazione e proceduta attraverso i millenni con la fusione dei metalli, i veicoli su ruote, le macchine a vapore e ora l'elettronica, ha molte delle caratteristiche di un'esplosione nel senso pieno del termine, e quindi il suo inizio merita una denominazione specifica, [p. 153] quella di Soglia della tecnologia cooperativa, corrispondente alla Soglia 8. E' addirittura possibile che la cultura umana abbia innescato una bomba duplicazionale del tutto nuova, con un nuovo tipo di entità autoduplicante - a cui ne Il gene egoista ho dato il nome di meme - che prolifera secondo il canone darwiniano nel fiume della cultura. E' possibile che attualmente stia prendendo quota una bomba memica in parallelo con la bomba genica che in precedenza aveva creato le condizioni cerebraliìculturali che hanno reso possibile quel decollo. Ma anche questo è un argomento troppo vasto per questo capitolo. Devo tornare al tema principale dell'esplosione planetaria e osservare che è una volta raggiunto lo stadio della tecnologia cooperativa, è molto probabile che in un punto imprecisato lungo il cammino venga acquisito il potere di produrre un impatto al di fuori del proprio pianeta. E così viene superata la Soglia 9, la Soglia delle trasmissioni via radio, che rende possibile a eventuali osservatori esterni di notare che un sistema stellare è appena esploso come bomba duplicazionale.

Il primo indizio che gli osservatori esterni potranno cogliere, come abbiamo visto, sarà probabilmente la fuoriuscita di radioonde

come sottoprodotto delle comunicazioni fra regioni del pianeta. In seguito, gli eredi tecnologici della bomba duplicazionale potrebbero rivolgere volutamente l'attenzione all'esterno, verso le stelle. Fra i nostri incerti passi in quella direzione vi è l'invio nello spazio di messaggi specificamente costruiti per essere compresi da intelligenze aliene. Ma come si fa a costruire un messaggio per un'intelligenza di cui non si sa nulla? Ovviamente è difficile, e vi sono alte possibilità di venire fraintesi.

Tuttavia, l'obiettivo di gran parte della nostra attenzione verso lo spazio esterno è stato più quello di informare gli alieni della nostra mera esistenza che quello di inviare messaggi con un contenuto sostanziale. Questo compito equivale al problema risolto dal professor Crickson nel Capitolo 1. Crickson aveva introdotto i numeri primi nel codice del dna, e una strategia parallela, ma servendosi di radioonde, potrebbe essere un sensato espediente per segnalare la nostra presenza ad altri mondi. La musica potrebbe apparire la [p. 154] migliore pubblicità per la nostra specie, e anche se i nostri ascoltatori non avessero le orecchie forse potrebbero apprezzarla a modo proprio. Il famoso scienziato e scrittore Lewis Thomas ha suggerito di trasmettere Bach, tutto Bach e null'altro che Bach, anche se ciò potrebbe farci apparire vanagloriosi. Ma anche la musica

potrebbe essere fraintesa da una mente sufficientemente diversa dalla nostra, e confusa con le emissioni di una pulsar. Le pulsar sono stelle che liberano impulsi di radioonde a intervalli di pochi secondi o ancor meno. Nel 1967, quando vennero scoperte da un gruppo di radioastronomi di Cambridge, lì per lì tutti entrarono in agitazione perché i segnali erano stati scambiati per messaggi

provenienti dallo spazio. Ma presto ci si rese conto che la spiegazione più «parsimoniosa» era che una stella di piccole dimensioni ruotasse ad altissima velocità emettendo un fascio di radioonde intermittenti paragonabile al fascio di luce lampeggiante di un faro. Fino a oggi non abbiamo ricevuto alcuna comunicazione proveniente con certezza da un luogo esterno al nostro pianeta.

Dopo le radioonde, l'unico passo ulteriore che abbiamo immaginato nello spostamento verso l'esterno della nostra esplosione è il viaggio nello spazio fisico: la Soglia 10, ovvero la Soglia dei viaggi spaziali. Gli scrittori di fantascienza hanno già immaginato la proliferazione interstellare di colonie umane, oppure di robot creati dall'uomo. Queste colonie possono essere considerate come semine, o come infezioni, o come nuove sacche di informazione autoduplicante, sacche che in seguito potrebbero ulteriormente espandersi verso l'esterno sotto forma di bombe duplicazionali satellitari diffondendo sia geni sia memi. Se questa fantasia verrà mai realizzata, forse non è troppo irriverente immaginare un futuro Christopher Marlowe che si rifà all'immagine del fiume digitale: «Guarda'" guarda'" dove il fiume della vita scorre nel firmamento!».

Finora non abbiamo compiuto nemmeno il primo passo verso l'esterno. Siamo arrivati sulla luna ma, per quanto grande sia stato quel successo, la luna, anche se non è solo una zucca, ha un'importanza così locale che uno spostamento fin là non può essere considerato un viaggio, almeno dal [p. 155] punto di vista degli alieni con cui un giorno potremmo comunicare. Abbiamo inviato una manciata di capsule senza uomini a bordo nello spazio profondo, su rotte verso l'ignoto. Una di queste, per iniziativa dell'astronomo e visionario americano Carl Sagan, reca un messaggio organizzato in modo da poter essere decifrato da qualsiasi intelligenza aliena vi si imbattesse. Il

messaggio è completato dalle immagini della specie che lo ha creato, le immagini di un uomo e di una donna nudi.

Con questo abbiamo conchiuso un itinerario circolare, e siamo tornati ai miti ancestrali da cui eravamo partiti. Ma questa coppia non è Adamo ed Eva, e il messaggio inciso sotto le loro figure armoniose è un'attestazione dell'esplosione della nostra forma di vita molto più attendibile di qualsiasi affermazione contenuta nella Genesi. In quello che è stato appositamente studiato per essere un linguaggio iconico universalmente comprensibile, la targa reca incisa

la storia della propria provenienza dal terzo pianeta di una stella le cui coordinate galattiche sono riportate con precisione. Le nostre credenziali constano anche di rappresentazioni iconiche di princìpi fondamentali della chimica e della matematica. Se la capsula verrà mai raccolta da creature intelligenti, queste daranno credito alla civiltà che l'ha inviata nello spazio di qualcosa di più di una primitiva superstizione tribale. Di là dallo spazio immenso, quegli alieni sapranno che molto tempo prima era esistita un'altra esplosione di vita culminata in una civiltà con cui sarebbe valsa la pena di avere contatti.

Peccato che la possibilità della capsula di transitare a meno di un parsec da un'altra bomba duplicazionale sia minima. Alcuni ritengono che il suo reale valore sia quello di ispirare la popolazione rimasta sul pianeta da cui la capsula è stata lanciata. La raffigurazione a tutto tondo di un uomo e di una donna nudi, con le mani alzate in un gesto di pace, deliberatamente inviata a compiere un eterno viaggio fra le stelle, il primo frutto esportato della conoscenza della nostra esplosione vitale: certamente, soffermarsi su questa immagine

potrebbe avere alcuni effetti benefici sulla nostra piccola coscienza normalmente «parrocchiale», potrebbe suscitare un'eco dell'impatto [p. 156] poetico - prodotto dalla vista della statua di Newton al Trinity College, a Cambridge - sulla coscienza, notoriamente gigantesca, di William Wordsworth:

«E dal mio cuscino, guardando fuori alla luce@ Della luna o di stelle favorevoli, potevo scorgere@ L'anticappella ove si erge la statua@ Di Newton, col suo prisma e il volto assorto,@ Immagine marmorea di una mente in eterno@ Viaggio per ignoti mari di Pensiero, solo.@»

NOTE:

(*) Air Raid Precautions, servizio di difesa antiaerea. [N'd'R']

[p. 157] Bibliografia
e letture consigliate

Con alcune eccezioni, ho limitato questa bibliografia ai libri facilmente accessibili piuttosto che alle opere tecniche reperibili soltanto nelle biblioteche universitarie.

[Con lo stesso criterio, si è scelto di citare le traduzioni italiane disponibili. Ciò spiega l'apparente incongruenza delle date di alcune traduzioni, che risultano precedenti a quelle delle relative edizioni originali, in quanto condotte su edizioni precedenti dell'opera. N'd'R'][3]

odmer Walter, Mckie Robin, The Book of Man: The Human Genome Project and the Quest to Discover Our Genetic Heritage, Scribners, New York

1995.
Bonner John Tyler, Life Cycles: Reflections of an Evolutionary Biologist, Princeton University Press, Princeton 1993.
Cain Arthur J', Animal Species and Their Evolution, Harper Torchbooks, New York 1960.
Cairns-Smith A' Graham, Seven Clues to the Origin of Life, Cambridge University Press, Cambridge 1985 (trad' it' Sette indizi sull'origine della vita, Liguori, Napoli 1986).
Cherfas Jeremy, Gribbin John, The Redundant Male: Is Sex Irrelevant in the Modern World?, Pantheon, New York 1984.
Clarke Arthur C', Profiles of the Future: An Inquiry into the Limits of the Possible, Holt, Reinehart & Winston, New York 1984.
Crick Francis, What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery, Basic Books, New York 1988 (trad' it' La folle caccia, Rizzoli, Milano 1990).
Cronin Helena, The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today, Cambridge University Press, New York 1991.
Darwin Charles, The Origin of Species, Penguin, New York 1985 (trad' it' L'origine delle specie, Boringhieri, Torino 1967).
Darwin Charles, The Various Contrivances by Which Orchids are Fertilised by Insects, John Murray, London 1882.
Dawkins Richard, The Extended Phenotype, Oxford University Press, New York 1989 (trad' it' Il fenotipo esteso. Il gene come unità di selezione, Zanichelli, Bologna 1986).
Dawkins Richard, The Blind Watchmaker, W'W' Norton, New York 1986 (trad' it' L'orologiaio cieco, Rizzoli, Milano 1988).
Dawkins Richard, The Selfish Gene, Oxford University Press, New York 1989 (trad' it' Il gene egoista, Mondadori, Milano 1992).
Dennett Daniel C', Darwin's Dangerous Idea, Simon & Schuster, New York 1995.

Drexler K' Eric, Engines of Creation, Anchor Pressìdoubleday, Garden City (N'Y') 1986.
Durant John R' (a cura di), Human Origins, Oxford University Press, New York 1989.
Fabre Jean-Henri, Souvenirs entomologiques, Paris 1919-1925; trad' ingl' Insects (a c' di David Black), Scribners, New York 1979 (trad' it' Ricordi di un entomologo, Einaudi, Torino 1981).
Fisher Ronald A', The Genetical Theory of Natural Selection, 2a ed' riveduta, Dover, New York 1958.
Frisch Karl von, The Dance Language and Orientation of Bees, trad' Leigh E' Chadwick, Harvard University Press, Cambridge 1967.
Gould James L', Gould Carol G', The Honey Bee, Scientific American Library, New York 1988.
Gould Stephen J', Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History, W'W' Norton, New York 1989 (trad' it' La vita meravigliosa.

[PAGINA 117]

I fossili di Burgess e la natura della storia, Feltrinelli, Milano 1990).
Gribbin John, Cherfas Jeremy, The Monkey Puzzle: Reshaping the Evolutionary Tree, Pantheon, New York 1982.
Hein Piet, Arup Jens, Grooks, Doubleday, Garden City (N'Y') 1969.
Hippel Arndt von, Human Evolutionary Biology, Stone Age Press, Anchorage 1994.
Humphrey Nicholas K', Consciousness Regained, Oxford University Press, Oxford 1983.
Jones Steve, Martin Robert, Pilbeam David (a cura di), The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution, Cambridge University Press, New York 1992.

Kingdom Jonathan, Self-made Man: Human Evolution from Eden to Extinction?, Wiley, New York 1993.
Macdonald Ken C', Luyendik Bruce P', The Crest of the East Pacific Rise, «Scientific American», maggio 1981, pp' 100-116 (trad' it' La cresta della dorsale pacifica-orientale, «Le Scienze», luglio 1981, n' 155, p' 40).
Manning Aubrey, Dawkins Marian S', An Introduction to Animal Behaviour, Cambridge University Press, New York 1992(4) (trad' it' Il comportamento animale, Boringhieri, Torino 1985).
Margulis Lynn, Sagan Dorian, Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution, Simon & Schuster, New York 1986 (trad' it' Microcosmo, Mondadori, Milano 1989).
Maynard Smith John, The Theory of Evolution, Cambridge University Press, Cambridge 1993.
Meeuse Bastiaan, Morris Sean, The Sex Life of Plants, Faber & Faber, London 1984.
Monod Jacques, Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology, trad' Austryn Wainhouse, Knopf, New York 1971 (trad' it' Il caso e la necessità, Mondadori, Milano 1986(6)).
Nesse Randolph, Williams George C', Why We Get Sick: The New Theory of Darwinian Medicine, Random House, New York 1995.
Nilsson Daniel E', Pelger Susanne, A Pessimistic Estimate of the Time Required for an Eye to Evolve, «Proceedings of the Royal Society of London», B, 1994.
Owen Denis, Camouflage and Mimicry, University of Chicago Press, Chicago 1982.
Pinker Steven, The Language Instinct: The New Science of Language and Mind, Morrow, New York 1994.
Ridley Mark, Evolution, Blackwell Scientific, Boston 1993.

Ridley Matt, The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature, Macmillan, New York 1994.
Sagan Carl, Cosmos, Random House, New York 1980 (trad' it' Cosmo,

[PAGINA 118]

Mondadori, Milano 1981).
Sagan Carl, Druyan Ann, Shadows of Forgotten Ancestors, Random House, New York 1992.
Tinbergen Niko, The Herring Gull's World, Harper & Row, New York 1960.
Tinbergen Niko, Curious Naturalists, Penguin, London 1974 (trad' it' Naturalisti curiosi, Rizzoli, Milano 1984).
Trivers Robert, Social Evolution, Benjamin-Cummings, Menlo Park (Calif') 1985.
Watson James D', The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of dna, Atheneum, New York 1968.
Weiner Jonathan, The Beak of the Finch: A Story of Evolution in Our Time, Knopf, New York 1994.
Wickler Wolfgang, Mimicry in Plants and Animals, trad' R'D' Martin, Mcgraw-Hill, New York 1968 (trad' it' Mimetismo animale e vegetale, Muzzio, Padova 1991).
Williams George C', Natural Selection: Domains, Levels and Challenges, Oxford University Press, New York 1992.
Wilson Edward O', The Diversity of Life, Harvard University Press, Cambridge 1992 (trad' it' La diversità della vita, Rizzoli, Milano 1993).
Wolpert Lewis, The Triumph of the Embryo, Oxford University Press, New York 1992 (trad' it' Il trionfo dell'embrione, Sperling & Kupfer, Milano 1993).'bd^

[p. 161] Indice analitico

[PAGINA 124]

Fine

[FINE]

PAGINE=130